



JADER BÔSCO GOMES

**AVALIAÇÃO DO DESPRENDIMENTO DO
FRUTO DO CAFEIEIRO POR VIBRAÇÃO:
UM ESTUDO DE CASO**

**LAVRAS - MG
2017**

JADER BÔSCO GOMES

**AVALIAÇÃO DO DESPRENDIMENTO DO FRUTO DO CAFEIEIRO
POR VIBRAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Instrumentação, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Giovanni Francisco Rabelo

Orientador

LAVRAS - MG

2017

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Gomes, Jader Bôsko.

Avaliação do desprendimento do fruto do cafeeiro por vibração: Um estudo de caso / Jader Bôsko Gomes. – 2017.

117p. : il.

Orientador: Giovanni Francisco Rabelo.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Vibrações. 2. Oscilações. 3. Frequência. I. Rabelo, Giovanni Francisco. II. Título.

JADER BÔSCO GOMES

**AVALIAÇÃO DO DESPRENDIMENTO DO FRUTO DO CAFEEIRO
POR VIBRAÇÃO: UM ESTUDO DE CASO**

***EVALUATION OF COFFEE FRUIT DETACHMENT BY VIBRATION:
A CASE STUDY***

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Instrumentação, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 15 de setembro de 2017.

Dr. David Cardoso Dourado Unifesspa-PA

Dr. Carlos Antônio Rufino IEF-UFV

Dra. Juliana Vilela Lourençoni Botega Cefet-MG

Dr. Carlos Alberto Carvalho Castro Cefet-MG

Prof. Dr. Giovanni Francisco Rabelo
Orientador

LAVRAS - MG

2017

*Aos meus pais, Antônio Gomes e Zélia Fazzion, pelos ensinamentos.
À minha família, esposa Cristina e filho Vinicius, pelo apoio nas jornadas e
momentos difíceis.*

Ao N.S. dos Passos, por me guiar em todas as minhas trajetórias.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Giovanni Francisco Rabelo, pela orientação profissional, pelos conselhos, amizade e, além do mais, pelo chaveiro de todas as portas.

Ao Prof. Dr. Vitor Hugo Teixeira, pela orientação do mestrado e pela simplicidade em transformar as ideias inovadoras.

À Coodenação de Engenharia Agrícola, no apoio do Prof. Dr. Alessandro Torres Campos.

À Profa. Dra. Denise de Carvalho Urashima, pela oportunidade e confiança em seus trabalhos como Diretora *Pro-tempore* do Cefet-MG.

Ao Prof. Dr. Fernando Teixeira Filho (*in memorian*), pelo respeito.

RESUMO

A fase cereja do fruto do café é a mais utilizada para a comercialização e sua colheita é realizada de várias maneiras, sendo as mais comuns a manual, a semimecanizada e a mecanizada. Com o intuito de contribuir para a eficiência desse processo, objetivou-se neste trabalho avaliar, em um sistema de colheita semimecanizado, no qual um vibrador é acoplado ao ramo da planta de café, qual a frequência de vibração responsável pela colheita da maior quantidade de frutos nessa fase. Para isso, vários instrumentos de captação foram testados e o microfone de eletreto foi o que melhor se adaptou às condições dos ramos e frutos das plantas instaladas no laboratório do Centro de Desenvolvimento de Instrumentação Aplicada à Agropecuária, da Universidade Federal de Lavras. Nesse local, sob condições reais de plantio, foi realizado um estudo preliminar com frutos nas fases verde, cereja e passas, a fim de conhecer as características de forma, peso, dimensão, cor e, sobretudo, condições de resistência ao desprendimento do pedúnculo. Os valores encontrados nessa análise foram base para a determinação dos parâmetros de operação do instrumento para o experimento principal. Neste último, as vibrações, cujas frequências foram medidas por meio do equipamento, associadas às diversas posições em que o grão foi encontrado nas plantas, foram adaptadas a um conjunto de dispositivos mecânicos que, com a interface do *software* “LabVIEW”, executaram oscilações avaliadas qualitativa e comparativamente de forma experimental. Isso permitiu a descoberta dos valores ideais para os parâmetros de operação das colhedoras e outros equipamentos envolvidos no processo. Portanto, as vibrações realizadas no experimento que proporcionaram as melhores condições para a coleta foram as de oscilações com frequência de 38 a 88 Hz, o que reduziu esforços na colheita de frutos de melhor qualidade, além de possibilitar uma análise das condições naturais de oscilação da planta.

Palavras-chave: Vibrações. Oscilações. Frequência. Colheita semimecanizada.

ABSTRACT

The cherry phase of the coffee is the most widely used for marketing and its harvest is carried out in several ways, the most common being manual, semi-mechanized and mechanized. In order to contribute to the efficiency of this process, this work aims to evaluate, in a semi-mechanized harvesting system, in which a vibrator is attached to the coffee plant branch, what frequency of the vibration is responsible for taking the largest amount of fruit of that stage. In this regard, several funding instruments have been tested and the electret microphone was the best adapted to the conditions of branches and fruits of plants installed in the laboratory of the Center of Instrumentation Development Applied to Agriculture, of the Federal University of Lavras. There, under actual conditions of planting, a preliminary study was carried out with the green fruit stage, cherry and raisins, to ascertain the characteristics of shape, weight, size, color and especially the peel strength conditions of the peduncle. The values found in this analysis were the basis for the determination of operating parameters of the instrument for the main experiment. In the latter, case the vibrations, whose frequencies were measured through the apparatus, associated to the various positions where the grain is found in plants, have been adapted to a number of mechanical devices which, with the "LabVIEW" interface *software*, executed qualitatively and comparatively evaluated oscillations and comparatively in an experiential approach. This allowed the discovery of optimal values for the operating parameters of the harvesters and other equipment involved. Therefore, the vibrations of the experiment that provided the best conditions for the collection were the frequency from 38 to 88 Hz, which reduced efforts to harvest the fruits of better quality and enabled the analysis of the natural conditions of plant oscillation.

Keywords: Vibrations. Oscillations. Frequency. Semi-mechanized harvesting.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Procedimento para medir a força de desprendimento dos frutos.	24
Figura 2 - Dinamômetro digital portátil (a) e (b), para determinação da força de desprendimento dos frutos.....	24
Figura 3- Diferentes modos de vibração pendular do sistema fruto-pedúnculo do café (a) Freq.: 15,95Hz (verde) e 12,02Hz (maduro); (b) Freq.: 16,19Hz (verde) e 13,14Hz (maduro); (c) 17,29Hz (verde) e 12,50Hz (maduro).	27
Figura 4 - Esquema dos modos de vibrações: (a) pendulares, (b) contrafase.	28
Figura 5 - Pêndulo simples.....	29
Figura 6 - Representação da excitação com sinal aleatório.	30
Figura 7 - Derriçadora motorizada.....	37
Figura 8 - Derriçadeira motorizada e implementos.....	38
Figura 9 - Vista frontal / planta da colhedora US6178730 B1.....	40
Figura 10 - Derriçadora automotriz oblíqua com ajuste para colheita de grãos de café e congêneres.	41
Figura 11 - Derriçadora Dragão Versati.....	42
Figura 12 - Derriçadora Kokinha.	42
Figura 13 - Colhedora Jacto K3 Millennium.	43
Figura 14 - Colhedora Tornado - Matão.	44
Figura 15 - Colhedora Case IH.	44
Figura 16 - Esquema do microfone de eletreto.	45
Figura 17 - Gráfico do intervalo de frequência e sensibilidade.	46
Figura 18 - Diagrama de blocos do funcionamento do microfone de eletreto.....	47

Figura 19 - Microfone de eletreto em corte (polarização potencial +, e + terra GND).....	47
Figura 20 - Padrão de cores dos frutos cereja nas plantas P1, P2, P3 e P4.	48
Figura 21 - Padrão de cores dos frutos cereja na planta P1.....	48
Figura 22 - Equipamento para verificação do padrão de cores CULUS Listed 9M30 Measurement Equipament5V @ 500mA x-rite Model RM200.	49
Figura 23 - Colorímetro para café CR - 300.	51
Figura 24 - Cores das fases do café: (a) verde, (b) verde/amarelo, (c) cereja, (d) cereja maduro, e) passas.....	52
Figura 25 - Padrão de frutos - (a) verde; (b) verde/cereja; (c) cereja.....	52
Figura 26 - Diagrama $L^*a^*b^*$ da cromaticidade do espaço de cor (tonalidade e saturação).....	53
Figura 27 - Dispositivos eletrônicos de captação de sinais.....	57
Figura 28 - Tipos de grãos: (a) verde, verde / cereja, cereja; (b) verde; (c) cereja.	58
Figura 29 - Ramo / fruto / pedúnculo: (a) verde, verde / cereja, cereja / passas, (b) cereja.	62
Figura 30 - Ramo / fruto / pedúnculo: (c) cereja, (d) amarelo.	63
Figura 31 - Aspectos de qualidade dos grãos: (e) verde/cereja, (f) cereja, (g) amarelo.	63
Figura 32 - Dimensional dos grãos: (h) diâmetro, comprimento, peso.....	63
Figura 33 - Teste de tração: (a) fixação inferior / superior do fruto no pedúnculo, (b) gráfico tensão x deformação.	65
Figura 34 - Força de desprendimento do café <i>Mundo Novo e Icatu</i>	66
Figura 35 - <i>Layout</i> do mecanismo de vibrações / interface no <i>software</i> “LabVIEW”.....	68
Figura 36 - Formação das plantas: (a) P1, (b) P2 do experimento.....	70

Figura 37 - Formação das plantas: (c) P3, (d) P4 do experimento.....	70
Figura 38 - Diagrama de blocos de sons e vibrações do <i>software</i> “LabVIEW”.....	72
Figura 39 - Calibração do microfone de eletreto com motor de frequência de 60 Hz.	74
Figura 40 - Bancada do experimento para análise de vibrações.	76
Figura 41 - Instalação do dispositivo de captação das vibrações - (a) e (b) Fixação no ramo.	76
Figura 42 - Posicionamento do microfone de eletreto no ramo (c) e (d).	77
Figura 43 - Posição cartesiana do instrumento na planta.	78
Figura 44 - Teste de força de desprendimento do fruto (a) e (b) dispositivo digital.	80
Figura 45 - Oscilações no ramo com instrumento transmissor no fruto.	88
Figura 46 - Flexão da vibração do ramo plagiotrópico da planta P1.	98
Figura 47 - Flexão da vibração do ramo plagiotrópico da planta P1.	99

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Amplitude x Frequência da planta P1.	82
Gráfico 2 - Amplitude x Frequência da planta P2.	83
Gráfico 3 - Amplitude x Frequência da planta P3.	83
Gráfico 4 - Amplitude x Frequência da planta P4.	84
Gráfico 5 - Resultado da transformada do sinal filtrado do fruto cereja em P1 ^(*1)	85
Gráfico 6 - Transformada da componente de baixa e alta frequência do fruto cereja, em P1.	86
Gráfico 7 - Transformada da componente de baixa e alta frequência do fruto cereja, em P2.	86
Gráfico 8 - Transformada da componente de baixa e alta frequência do fruto cereja, em P3.	87
Gráfico 9 - Transformada da componente de baixa e alta frequência do fruto cereja, em P4.	87
Gráfico 10 - Teste 1 Vibrações no ramo da planta P1.	89
Gráfico 11 - Teste 2 Vibrações no ramo da planta P1.	90
Gráfico 12 - Teste 3 Vibrações no ramo da planta P1.	90
Gráfico 13 - Teste 4 Vibrações no ramo da planta P1.	91
Gráfico 14 - Teste 5 Vibrações no ramo da planta P1.	92
Gráfico 15 - Teste 6 Vibrações no ramo da planta P1.	92
Gráfico 16 - Teste 7 Vibrações no ramo da planta P1.	93
Gráfico 17 - Teste 8 Vibrações no ramo da planta P1.	94
Gráfico 18 - Teste 9 Vibrações no ramo da planta P1.	95
Gráfico 19 - Teste 10 Vibrações no ramo da planta P1.	96
Gráfico 20 - Ramo em vibrações - Teste 1 (cereja).	100
Gráfico 21 - Ramo em vibrações - Teste 2 (cereja).	100

Gráfico 22 - Ramo em vibrações - Teste 3 (cereja).....	101
Gráfico 23 - Ramo em vibrações - Teste 4 (cereja).....	101
Gráfico 24 - Ramo em vibrações - Teste 5 (cereja).....	102
Gráfico 25 - Ramo em vibrações - Teste 6 (cereja).....	102
Gráfico 26 - Ramo em vibrações - Teste 7 (cereja).....	103
Gráfico 27 - Ramo em vibrações - Teste 8 (cereja).....	103
Gráfico 28 - Ramo em vibrações - Teste 9 (cereja).....	104
Gráfico 29 - Ramo em vibrações - Teste 10 (verde).....	104
Gráfico 30 - Comparação geral dos testes das vibrações 1 ao 10 (planta P1).....	105
Gráfico 31 - Comportamento de todas as amostras dos testes 1 ao 10 (planta P1).....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios do período de maturação C1, C2, C3 e C4.	25
Tabela 2 - Padrão de cores dos frutos cereja e verde das plantas P1, P2, P3 e P4.....	49
Tabela 3 - Classificação do padrão de cores (frutos e folhas).	50
Tabela 4 - Itens de consumo permanente.	61
Tabela 5 - Peso médio comparativo dos grãos e dos sensores.	64
Tabela 6 - Média da força de desprendimento do café <i>Mundo Novo e Icatu</i>	65
Tabela 7 - Resumo da força média de desprendimento, em kgf, dos frutos nas plantas P1, P2, P3 e P4 ^(*)	81
Tabela 8 - Resultado de testes de vibrações T1 ao T10 - (mm/s).....	106
Tabela 9 - Pesos comparativos dos grãos e dos instrumentos.	106

ANEXO A

Tabela 1 - Dados para análise de vibrações das plantas P1, P2, P3 e P4.	115
Tabela 2 - Desprendimento e dimensional dos frutos nas plantas P1, P2, P3, P4. (Continua)	116

LISTA SIGLAS E SÍMBOLOS

Cedia	Centro de Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária
Cefet	Centro Federal de Educação Tecnológica
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
DEG	Departamento de Engenharia da UFLA
LabView	TM Student Software - módulo de vibrações
L*a*b*	Diagrama da cromaticidade do espaço cor
FDF	Força de Desprendimento do Fruto
GND	Filtro graduado de densidade neutra do microfone de eletreto
FET	Field Effect Transistor - Transistor de efeito de campo
FICIT	Relação cor de alimentos
SCAA	Specialty Coffee Association of America
P1,P2,P3,P4	Espécies de plantas de café no experimento
TDP	Tomada de potência
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	21
2.1	Geral	21
2.2	Específicos	21
3	REFERENCIAL TEÓRICO	23
3.1	Mecanização	23
3.2	Equipamentos para derrixa	30
3.3	Derrixadora de café	34
3.4	Derrixadoras portáteis	35
3.5	Implementos da derrixadora portátil	37
3.6	Colhedoras autopropelidas	38
3.7	Características do microfone de eletreto	44
3.8	Funcionamento do microfone de eletreto	46
3.9	Padrões de cores	48
3.10	Espaço de Cor $L^*a^*b^*$	52
4	MATERIAL E MÉTODOS	55
4.1	Sensores de vibrações	57
4.2	Aspectos de qualidade dos frutos	57
4.3	Fases do café no projeto	62
4.4	Testes preliminares	64
4.5	Captação de sinais	66
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
5.1	Interface do microfone de eletreto com o <i>software</i>	71
5.2	Dados gerados pelo <i>software</i> “LabVIEW”	72
5.3	Calibração	73
5.4	Experimento	75
5.5	Análise estatística	78
5.6	Desprendimento dos frutos	80
5.7	Oscilações na planta	88
6	CONCLUSÕES	107
	REFERÊNCIAS	109
	ANEXO A - DADOS DE VIBRAÇÕES E DESPRENDIMENTO	115

1 INTRODUÇÃO

Existem três fases de características distintas no desenvolvimento cronológico dos frutos de café: verde, cereja e passas. Quando em boa formação (de acordo com critérios de avaliação de massa, dimensão e coloração), os exemplares da fase cereja configuram-se como os de maior interesse pelos produtores, que visam a atingir os índices de qualidade exigidos no mercado (SILVA, 2013).

No Brasil, são cultivados principalmente os cafés do tipo *Coffea arábica*, *Mundo Novo* e *Icatu*. A produção concentra-se principalmente nos estados da Bahia, Espírito Santo e Minas Gerais (Região Sul) (SILVA, 2002) e, em alguns desses locais, o relevo pode ser montanhoso e de difícil acesso.

Para que um produtor se insira competitivamente no cenário do mercado mundial, concorrido e competitivo, dois fatores são de grande importância: a qualidade dos frutos e a velocidade com que podem ser coletados. Parâmetros de qualidade podem alterar significativamente a cotação do grão de café, e a realização de uma colheita adequada e seletiva dos frutos pode ser definitiva na garantia de sua qualidade, sendo importante, portanto, esse procedimento.

Conforme Souza (2004), a colheita do café pode ser descrita em três etapas: a primeira consiste da derriça ou catação, a segunda é a varrição e/ou recolhimento e a terceira refere-se à abanação dos frutos. Durante a etapa de derriça, os frutos das árvores podem ser colhidos de uma única vez ou de forma seletiva, sendo coletados somente os grãos maduros.

Entre os métodos existentes no Brasil para a realização da colheita dos frutos, predominam três: manual, semimecanizada e mecanizada.

A colheita manual é um dos processos mais antigos e de maior garantia de qualidade na produção cafeeira. É principalmente praticada em um ambiente familiar e apresenta atualmente alguns problemas, como o custo da mão de obra e a dificuldade de encontrar profissionais, uma vez que, por conta das condições

de trabalho e do surgimento de novas tecnologias, há uma espécie de desinteresse por parte dos trabalhadores, o que obriga o produtor a buscar novas alternativas.

O segundo método, semimecanizado, é realizado de maneira mista, com trabalhadores para a execução da tarefa, que utilizam equipamentos, como as derrigadeiras portáteis, diminuindo o alto custo com mão de obra, infraestrutura apropriada e as dificuldades na seleção, uma vez que as derrigadeiras portáteis desempenham o trabalho em tempo mais rápido e com muito menos esforço, além de alcançar uma área maior no entorno da planta.

O terceiro método mais comum, mecanizado, surgiu com o desenvolvimento de novos mecanismos, como as colhedoras mecanizadas. Tais equipamentos são compostos por sistemas vibratórios e podem atingir altos níveis de produção, com grande aproveitamento da capacidade da máquina e, conseqüentemente, na extração do fruto da planta. Porém, apesar das aparentes vantagens com a redução da necessidade de trabalhadores, esse método de colheita também apresenta desvantagens.

As máquinas que realizam essa tarefa possuem mecanismos de regulagens variadas em seu sistema de vibrações por hastes e canaletas de coleta do grão de café. Isso mantém esses instrumentos mais próximos da região de colheita do fruto, o que significa que, além dos frutos cereja (desejados), são coletados frutos nas fases verde e passas, o que compromete a qualidade final, pois impede que a colheita seja realizada de forma seletiva. Além disso, as colhedoras dessa natureza possuem o centro de gravidade limitado, o que dificulta a utilização em terrenos com curvas de níveis acentuados. Essa situação agrava os meios de acesso, que, neste caso, são mais estreitos, dificultando o manejo e a movimentação, o que aumenta a complexidade no desenvolvimento de equipamentos eficientes para essa tarefa.

Com o desenvolvimento e a aplicação atuais de algumas dessas técnicas na produção cafeeira, algumas condições levam a atividade à escassez de mão de obra manual e, conseqüentemente, provocam uma necessidade de qualificação dos operadores tanto de sistemas semimecanizados quanto de sistemas mecanizados, dependendo do tipo de região e finalidade do processo.

Vélez (2015) e a Federação Nacional de Cafeicultores afirmam que o café de maior reconhecimento mundial, o colombiano, tem seu nível de qualidade assegurado pelo fato de a colheita ser realizada manualmente e utilizar-se apenas dos frutos na fase cereja. Nesse estudo, afirma-se ainda que os produtores do país passam por grandes problemas relacionados à colheita dos frutos, uma vez que os sistemas mecanizados não se adaptam ou moldam ao relevo onde se encontram as plantações, além de não garantir a mesma qualidade da colheita manual, que, por sua vez, tem se tornado cada vez mais escassa no setor cafeeiro.

Assim, um dos procedimentos possíveis para a realização das coletas é a utilização de novas técnicas de vibrações mecânicas, tornando o estudo e a avaliação do efeito localizado de fatores, como as oscilações, frequência e o grau de maturação dos frutos, fundamentais para a construção de máquinas e instrumentos capazes de aprimorar esse tipo de processo.

A viabilidade econômica do uso de acelerômetros em sistemas de análises de vibrações nos equipamentos de colheita em lavoura de café tem sido demonstrada em diversos estudos. Os acelerômetros são dispositivos eletrônicos de alta precisão capazes de transformar os dados eletrônicos coletados em dados reais para otimização dos parâmetros de regulagem de máquinas em dispositivos de colheita do fruto. No entanto, ainda possuem dificuldade de instalação devido ao estilo de planta, produto e forma.

Entretanto, apesar da necessidade de aumentar a eficiência da seleção dos grãos e dos valores agregados esperados no desenvolvimento desse

equipamento em sistemas de coleta de dados, há uma enorme preocupação com a falta de sensibilidade dos aparelhos, levando em consideração os pré-requisitos: forma, peso e interface.

No momento, três fatores contribuem para a continuidade desse quadro de instabilidade no uso de acelerômetro em sistemas de coleta:

- a) as estratégias para controle dos acelerômetros nos coletores são um desafio para os profissionais da automação;
- b) existem discrepâncias entre valores esperados e valores realizados (observados) na separação do grão em relação aos equipamentos existentes;
- c) são raros os equipamentos existentes com essa sensibilidade observável. Portanto, objetivou-se neste trabalho:

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Estudar a utilização de vibrações para o desprendimento de frutos na fase cereja no pé de café, por meio de instrumentos do tipo microfone de eletreto. A partir disso, transformar os resultados coletados em regulagens de equipamentos, com o intuito de melhorar a qualidade dos produtos e processos.

2.2 Específicos

Determinar frequências de vibração nos diferentes estádios de maturação do café, levando em conta os seguintes aspectos: peso, dimensional, tipo de grão distribuído nas ramas da planta, distância entre os grãos na rama, desprendimento do grão no pedúnculo e vibrações no galho.

Avaliar a eficácia de desprendimento do fruto no pedúnculo (fixado nas ramas) pelo processo de vibração, a fim de estabelecer parâmetros de vibrações para as colhedoras e de sistemas semelhantes.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Mecanização

A tecnologia tem mostrado como a mecanização na lavoura de café de pequenos e médios produtores tem evoluído. Além disso, permite alterar custos de produção, a qualidade do produto final e o preço de comercialização, tornando o mercado mais competitivo. Segundo Silva (2013), sobre a influência de variáveis meteorológicas, do solo e nutricionais, força de desprendimento dos frutos e, como as oscilações da força de desprendimento estão relacionadas diretamente com as variáveis do clima, radiação solar, com a precipitação, a umidade relativa do ar, a umidade do solo, as variações de temperatura, possibilitam, assim, alterações da força de desprendimento dos frutos verdes, cerejas e passas.

Nos estudos relacionados ao Manejo Tecnológico da Lavoura Cafeeira - Procafé, (SILVA, 2002), foram determinados vários parâmetros da força de desprendimento dos frutos (FDF) nos estádios de maturação verde, cereja e passas, os quais foram submetidos a teste de desprendimento mediante um equipamento portátil “dinamômetro digital”, que, anteriormente, era medida por dispositivo manual constituído com mola calibrada.

O equipamento digital permite leituras de cargas em Newton, lbf e, em kgf, determinadas pela especificação máxima do equipamento em 20 kg (200N).

Os estudos mostraram que a força de desprendimento dos frutos no estádio verde e cereja foi determinada a cada sete dias durante o período de maturação dos frutos, sendo realizados em três planos previamente demarcados em cada parcela experimental, caracterizando três repetições. A coleta de dados da força de desprendimento dos frutos foi obtida nos terços superiores, médio e inferior, caracterizando os três patamares da planta. Em cada patamar, foi obtida a Força de Desprendimento do Fruto (FDF) em cinco frutos na mesma rama,

para cada estágio de maturação, obtendo, assim, a diferença entre a força média de desprendimento analisada.

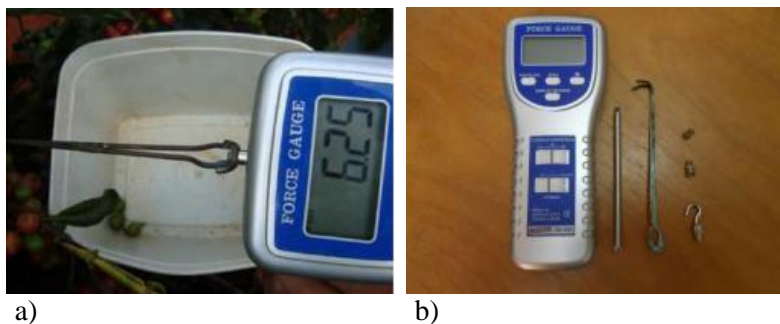
Os frutos destacados foram colocados em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, por 24 horas (BRASIL, 1992), para obtenção da umidade gravimétrica durante o período de maturação, conforme mostrado na Figura 1 e Figura 2(a,b).

Figura 1 - Procedimento para medir a força de desprendimento dos frutos.



Fonte: PCE Instruments - Force Gauge PCE-FM200

Figura 2 - Dinamômetro digital portátil (a) e (b), para determinação da força de desprendimento dos frutos.



Fonte: PCE Instruments - Force Gauge PCE-FM200.

De acordo com Castro Silva (2008) e mediante as análises na utilização da equação de correlação nas maturações verde e cereja separadamente na interpolação de resultados, o objetivo do procedimento foi a verificação dos parâmetros e em quanto tempo estão relacionados e interferindo na força de desprendimento dos frutos, cuja fórmula de desprendimento mostra a correlação do fenômeno mostrado na Equação 1 e na Tabela 1:

Equação 1 - Correlação nas maturações verde e cereja

$$r = \frac{\Sigma(xi-\bar{x})(yi-\bar{y})}{\sqrt{(\Sigma[(xi-\bar{x})^2])(\Sigma[(yi-\bar{y})^2])}} \quad (1)$$

Fonte: Castro Silva (2008).

Na Tabela 1, verificaram-se os resultados encontrados da comparação da força média nos períodos de maturação, que foram de 5%, usando teste de “Tukey”, comparação de médias.

Tabela 1 - Valores médios do período de maturação C1, C2, C3 e C4.

Cond.	Período de maturação							Média
	18/04	25/04	02/05	09/05	16/05	23/05	20/06	
C1	9.09bA	7.75abA	8.30abA	8.60abA	8.13abA	8.06abA	7.17aA	8.15 A
C2	8.81aA	8.37ab	8.27aA	8.22aA	7.68aA	8.36aA	8.66aA	8.34 A
C3	7.80abA	7.47ab	8.09abA	8.62abA	8.22abA	9.60bA	8.78aA	8.37 A
C4	7.50aA	7.62ab	7.72aA	9.14aA	7.78aA	8.62aA	7.99aA	8.05 A
Média	8.30a	7.80a	8.09a	8.64a	7.95a	8.66a	8.15a	8,23aA

Fonte: Castro Silva, (2008).

Nota: Médias dos testes de Tukey a 5% de significância nas colunas e linhas seguidas de mesma letra maiúscula, não diferem entre si.

Com base nos estudos realizados por Sampaio (2000), o estágio de maturação e a força de tração para o desprendimento do fruto têm influência significativa e variam de acordo com as espécies estudadas.

Nesse estudo, a variedade de café *Mundo Novo* foi a que apresentou e exigiu maior força de tração para o seu desprendimento, os frutos verde e cereja de variedade *Mundo Novo* e *Catuai Vermelho* foram as que exigiram maior força de tração para o desprendimento dos frutos, sem diferença entre si.

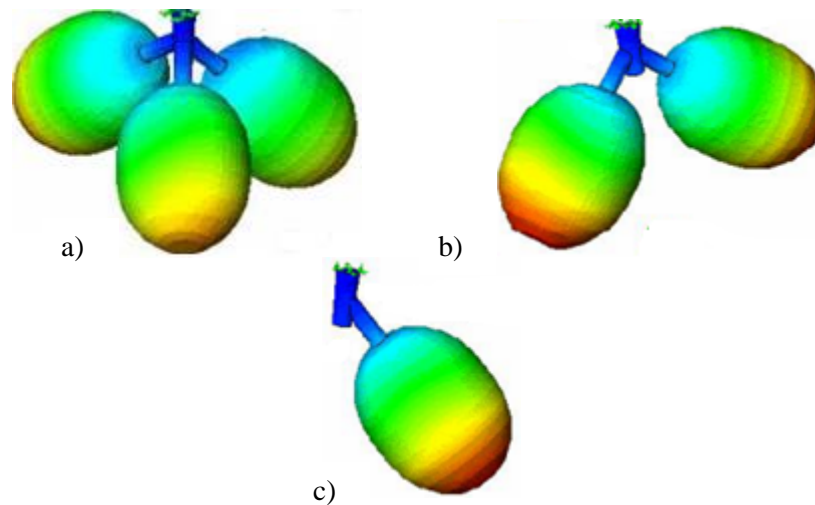
As espécies *Mundo Novo* e *Catimor* são as variedades que exigiram maior força de desprendimento e não obtiveram diferenças entre si, apresentadas pelo teste “Tukey” a 5% de probabilidade.

A variedade *Conillon*, nos três estádios estudados, foi a que apresentou menor valor de força de tração para o desprendimento dos frutos com relação à variedade *Catuai Vermelho*, mas apresentou diferenças significativas nas regiões das plantas, como: saia, meio e topo.

De acordo com os trabalhos e ensaios realizados com dados de características das dimensões de frutos de *Coffea arábica*, variedade Caturra (GASKIN et al., 2004), foram simuladas as frequências, utilizando-se *software Solid Musch* em diferentes formações do sistema fruto-pedúnculo do café, sendo modelados conjuntos com 1, 2 e 3 frutos de café, tanto maduros como verdes, com o pedicelo preso a um mesmo pedúnculo. Para as simulações, utilizaram-se valores médios de comprimento e diâmetro dos frutos, assim como os comprimentos e diâmetros dos pedúnculos e pedicelos.

Os modelos obtidos foram submetidos a uma análise modal até o 12º modo de vibração, empregando-se um programa computacional de análise por elementos finitos. Para a definição da malha de elementos, foram empregados elementos do tipo piramidal, resultado em um total de 7.746, 8.753 e 10.350 elementos para os conjuntos contendo 1, 2 e 3 frutos, respectivamente, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3- Diferentes modos de vibração pendular do sistema fruto-pedúnculo do café (a) Freq.: 15,95Hz (verde) e 12,02Hz (maduro); (b) Freq.: 16,19Hz (verde) e 13,14Hz (maduro); (c) 17,29Hz (verde) e 12,50Hz (maduro).

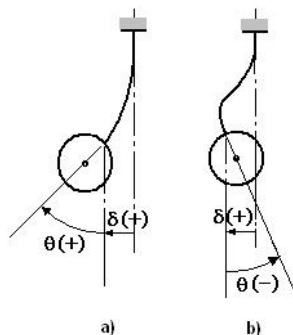


Fonte: Martínez, Queiroz, Gaskin e Matsuo (2004) - Análise modal do sistema fruto-pedúnculo de café.

Com os dados de entrada do programa computacional, foram utilizados os módulos de elasticidade apresentados por Ching (1974), o coeficiente de Poisson do pedúnculo e pedicelo e os valores de massa específica dos frutos obtidos por Gaskin (2004) para *Coffea arábica*, variedade *Caturra*. Do ponto de vista de desprendimento dos frutos, pôde-se verificar que, no modo de vibração pendular, as diferenças entre as frequências naturais para frutos maduros e frutos verdes são pequenas, entre 3 e 5 Hz, o que explica a dificuldade de se realizar a colheita seletiva com o uso desse modo de vibração.

Para o modo de vibração, conforme mostrado na Figura 3(a, b, c) e na Figura 4(a,b), essas diferenças oscilam entre 15 a 17 Hz para os frutos verdes entre 12 a 14 Hz para os frutos maduros (cereja), o que torna muito mais favorável a coleta seletiva, conforme mostrado no esquema dos modos de vibrações pendulares abaixo.

Figura 4 - Esquema dos modos de vibrações: (a) pendulares, (b) contrafase.



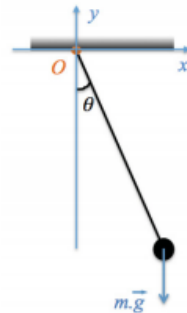
Fonte: Gaskin et.al (2003).

Conforme encontrado na literatura, são comuns os trabalhos que utilizam tal modelo para ilustrar aspectos epistemológicos da Física. Silveira & Ostermann, (1996), por exemplo, defendem a insustentabilidade da lógica indutiva como método de produção de conhecimento, apresentando uma reflexão sobre uma atividade de laboratório em que supostamente se pretende, “descobrir a Lei do Pêndulo Simples”.

Medina, Velazco & Salina (2002) apresentam uma análise dos limites do domínio de validade do modelo de pêndulo simples e destacam que, com ele, pode-se promover uma melhor compreensão do processo de modelagem científica por parte dos pesquisadores. No entanto, ressaltaram-se alguns aspectos que são fundamentais para a discussão.

O modelo de pêndulo simples se distancia da realidade pelo fato de alguns pressupostos serem assumidos durante o delineamento do seu objeto-modelo, ou seja, as dimensões do corpo suspenso são consideradas desprezíveis, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Pêndulo simples.



Fonte: Heidemann, L. A., et al (2012).

O fio de sustentação do pêndulo é considerado inextensível, inflexível e de massa desprezível, pois as forças dissipativas são desconsideradas, ou seja, o movimento é conservativo.

O movimento do pêndulo é considerado estritamente bidimensional, pois o sentido do torque é para dentro do plano, caso o corpo suspenso se encontre à direita do eixo vertical; e para fora, quando se encontrar à esquerda, ou seja, é um torque do tipo restaurador, que, adotando-se um referencial em que torques positivos apontam para fora do plano, pode ser escrito de acordo com a Fórmula 2 (Movimento do pêndulo).

$$\begin{aligned} \tau &= -m \cdot g \cdot l \cdot \text{sen } \theta & (2) \\ T &= 2\pi\sqrt{l/g} \end{aligned}$$

Em que:

τ - período de tempo simples;

T - período de tempo simples;

g - aceleração local da gravidade;

l - comprimento do pendulo;

$\text{sen } \theta$ - posição angular em relação ao equilíbrio.

Com base nos estudos de análise modal, utilizou-se o método de excitação com sinal aleatório, que permitiu entender as variações, amplitude e os casos das fases lineares e não lineares. A variação aleatória da amplitude e da fase de média proporciona uma estimativa em caso linear ideal, conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Representação da excitação com sinal aleatório.



Fonte: Do autor (2017).

3.2 Equipamentos para derrição

Em pesquisas realizadas, foram levantados dados sobre as derrificadoras portáteis de café, *Coffea arabica*, e as mãozinhas vibratórias de diferentes fabricantes. Nos equipamentos referentes aos dispositivos utilizados na derrição de frutos de café, têm-se o cilindro batedor, o mecanismo de vibração e os dispositivos recolhedores de esteira e espinha de peixe.

A colhedora lateral acoplada ao chassi do trator, a colhedora de citrus acoplada ao sistema de tração do trator, a colhedora pneumática, a derridora automotriz oblíqua com movimentação dos cilindros derridores e também as derridoras conjugadas e autopropelidas citadas foram a Dragão Versati, Dragão Sol, Kokinha, K3 Millennium, Tornado Matão e Case IH.

As primeiras tentativas para mecanizar a colheita de frutos envolveram o desenvolvimento de dispositivos mecânicos que simulassem o varejo (FRIDLEY, 1983). Em meados dos anos 50, vibradores como os referidos

estavam disponíveis na Califórnia e eram usados para colher noz, amêndoa e ameixa (FRIDLEY, 1983).

Segundo Matiello & Pinto (1998), em plantios adensados de pequenas propriedades, principalmente em áreas montanhosas, a operação de colheita só pode ser feita manualmente. Nos últimos anos, vêm sendo introduzidas derrçadoras portáteis que utilizam a vibração com o princípio de funcionamento (SILVA et al.,1998), que possibilitam a colheita nessas áreas, as quais apresentam rendimento até oito vezes superior ao da colheita manual.

A vibração e/ou impacto têm-se revelado métodos eficientes de colheita de diversos produtos agrícolas, tais como: azeitona, citros e nozes (RODRÍGUEZ, et al.,1980; ORTIZ-CAÑAVATE, 2010). Todas as máquinas propostas para a colheita do café, independentemente de seu tamanho, utilizam esses princípios. Com o princípio da vibração, as máquinas possibilitam a colheita seletiva, contornando, em parte, o problema da desuniformidade de maturação dos frutos do cafeeiro.

De acordo com Mundim et al. (2003), a maioria das máquinas agrícolas fabricadas no Brasil para processar produtos são cópias adaptadas de máquinas estrangeiras. Essas máquinas foram projetadas utilizando as informações e as características de frutos diferentes dos produtos brasileiros, o que resultou em baixa capacidade operacional e problemas de funcionamento.

Seguindo parte da metodologia descrita por Pahl et al., (2005), foi realizada uma pesquisa relacionada às diferentes formas de colheita semi-mecanizada que utiliza a vibração como principal ferramenta, para verificar suas vantagens ao utilizá-las na colheita do fruto macaubeira.

Na análise do banco de patentes dos catálogos de empresas de máquinas e em notas técnicas do setor cafeeiro, foi possível avaliar alguns dos produtos considerados pertinentes, no que se refere à viabilidade técnica, para sua utilização na colheita de macaúba.

É necessário também o estudo do comportamento dinâmico do sistema fruto-ráquila para nortear o desenvolvimento dessas máquinas. E para tal estudo, é necessário conhecer algumas de suas propriedades físicas, geométricas e mecânicas. Dentre as propriedades mecânicas, o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson são de fundamental importância. Essas constantes ditam o comportamento de um material que, quando sujeito a uma tensão, sofre deformação elástica. Dentre as principais características dinâmicas do sistema fruto-ráquila, a frequência a que esse é submetido tem influência sobre a eficiência do processo de destacamento dos frutos do cacho por vibração mecânica.

O conhecimento das frequências naturais e seus modos de vibração são fundamentais para o sucesso do processo de destacamento dos frutos; porém, vários fatores podem influenciar esse processo. A macaúba apresenta grande variedade entre acessos distintos, o que gera frutos de tamanhos diferentes e maturação desuniforme. Para auxiliar no desenvolvimento de máquinas com a finalidade de desprendimento do fruto da ráquila, é possível desenvolver um modelo matemático do sistema (fruto-ráquila), visando a conhecer seu comportamento dinâmico quando submetido a vibrações mecânicas. Geralmente, a modelagem é representada por um sistema de equações diferenciais e são gerados modelos tridimensionais para determinar e simular o comportamento dinâmico do sistema de onde são obtidas suas propriedades modais.

A distribuição espacial da macaúba em diversas regiões do Brasil proporciona características exclusivas a cada acesso da planta, devido à variabilidade climática. Sabe-se que populações nativas são heterogêneas e apresentam problemas, como a sazonalidade (MOTTA, 2002). O dimensionamento das máquinas de colheita e processamento deve levar em

consideração essa heterogeneidade nas características dos diferentes acessos dessa palmeira.

Utilizou-se um programa computacional para o desenvolvimento de projetos virtuais, visto que ele tem se mostrado uma importante ferramenta para o sucesso e a confiabilidade dos produtos, oferecendo uma maior possibilidade de averiguação da viabilidade técnica e econômica, sem a necessidade da construção do produto. Com isso, é possível reduzir custos e aumentar a segurança com a previsão de possíveis falhas dos projetos, tanto no aspecto cinemático quanto na resistência e falha dos materiais.

Na colheita da azeitona, os produtores utilizam uma espécie de pente com a função exata de "pentear" os galhos, de modo que as azeitonas caiam em uma rede estendida sobre o solo abaixo da árvore. Esses pentes são chamados de varejadores. Após "pentear" toda a árvore, a rede é recolhida e as azeitonas são transferidas para uma caixa perfurada, para que elas se mantenham arejadas.

Os varejadores elétricos representam o início de um novo método de trabalho e tem evoluído com o recurso de dispositivos mecânicos. A maioria deles foi estudada sob o princípio da oscilação a elevada frequência, movimento rápido e com velocidade, tendo como principais características a leveza, a ergonomia e o silêncio. Uma das soluções para conseguir tais características é utilizar em sua construção a fibra de carbono, o alumínio e o magnésio.

Existem no mercado equipamentos constituídos por um pequeno motor de dois tempos, transportado no ombro do operador e por uma vara metálica, no extremo da qual há um gancho que recebe vibração produzida por um dispositivo acionado pelo motor. O gancho, ao ser encaixado pelo operador nos ramos das árvores, produzirá a sua vibração.

Outros equipamentos são constituídos por uma vara metálica manuseada pelo operador, a transmissão é pneumática, sobre rodas no extremo da qual há dois pentes ou palmas, cujo movimento alternativo de aproximação e

afastamento relativo promove, ao bater nos frutos, a sua queda. Esses varejadores mecânicos operados manualmente facilitam a tarefa, reduzem um pouco o tempo de trabalho e são utilizados em pequenas explorações (SIERRA, 1996).

Para Tsatsarelis et al., (1984), os fatores que afetam o destaque dos frutos são: as especificações dos dispositivos de vibração; o cultivo; a poda a que foi sujeita a árvore; a maturação; a força necessária para o desprendimento; a massa dos frutos. A esses, pode-se acrescentar a utilização de produtos químicos facilitadores do destaque dos frutos (PORRAS, 1990; MARTIN, 1994; BEN-TAL, 1994).

Uma característica importante é que as varetas são removíveis; logo, a mesma haste pode ser usada para acoplar outros equipamentos, transformando os varejadores em roçadeiras, derriçadoras, entre outros, e vice-versa. Essa característica poderia ser usada com a nossa proposta de mecanização para a colheita de macaúba.

3.3 Derriçadora de café

A derriçadora é um aparelho mecânico manejado manualmente e acionado por motor lateral ou traseiro, que faz vibrar as varetas em sua extremidade, promovendo a derriça dos frutos. O funcionamento do equipamento consiste em transformar o movimento de rotação fornecido pelo motor de combustão interna em movimento linear alternativo, sendo o motor lateral o mais usual. A máquina de derriça foi inicialmente projetada para auxiliar na colheita da azeitona.

As máquinas derriçadoras mais comuns possuem um par de feixes de varetas cuja aparência é a de duas mãos coplanares, situadas lado a lado, que agem sempre em sentidos opostos, em movimentos de aproximação e de afastamento das varetas dos feixes. Essas varetas em forma de mãos são

movidas por mecanismos excêntricos, bielas, êmbolos ou outros meios, que promovem a movimentação sequencial e repetitiva de suas partes móveis que devem atuar como contato de condução junto aos galhos das plantas, balançando-os para desprendimento dos frutos.

Tal máquina possui um motor de dois tempos acoplado diretamente à haste, o que torna o operador autônomo em relação a tratores e compressores. A hipótese principal do trabalho baseou-se em cálculos, que induziram a valores significativos de vibrações, a fim de acelerar a queda dos grãos de café, diferentemente da máquina de colher azeitona, que utiliza movimentos angulares oriundos de um conjunto de seis a oito varetas, que vibram, em média, com frequência de 900 rotações por minuto.

Para o desenvolvimento das máquinas de colheita, é necessário primeiramente conhecer as propriedades mecânicas, a anatomia da madeira e a geometria detalhada do cafeeiro (ARISTIZÁBAL-TORRES et al. 1998). Com o conhecimento das propriedades físico-mecânicas dos frutos do cafeeiro, podem-se determinar os parâmetros de projetos dos órgãos de trabalhos das máquinas destinadas à colheita mecanizada que usam o princípio da vibração (LLANES et al. 1998).

Para determinar as frequências de vibração forçadas mais adequadas ao desprendimento dos frutos do cafeeiro, devem ser conhecidas as frequências naturais deles. Segundo estudo da UFV, amplitudes de vibração de 30 mm e frequência de vibração de 20 Hz apresentaram menores tempos e número de ciclos para o desprendimento dos frutos do cafeeiro.

3.4 Derrçadoras portáteis

As derrçadoras portáteis são máquinas constituídas de hastes manejadas manualmente, possuindo garras com “dedos” que fazem a derrça do café, podendo ser acionadas pneumáticamente ou por motores.

As derriçadoras pneumáticas são máquinas constituídas de um compressor de ar, um cilindro armazenador e hastes vibratórias. O compressor pode ser acionado pelo trator por meio da TDP (Tomada de Potência) ou por motor próprio de 7 a 25 cv. O ar comprimido, conduzido por mangueiras flexíveis, faz vibrar as hastes que derriçam os frutos de café. As hastes vibratórias são constituídas de um tubo com comprimento que varia de 1 a 2 metros e um motor pneumático que gera a vibração. Essas hastes são de manejo manual. Um mesmo compressor pode acionar até quatro conjuntos de hastes. Dependendo do seu desempenho, as derriçadoras pneumáticas podem se tornar uma boa opção para áreas onde não é possível ou conveniente a entrada de máquinas maiores, como nas áreas de declive acentuado, em plantios adensados ou em pequenas propriedades.

As derriçadoras portáteis acionadas diretamente por motores de combustão interna têm princípio de funcionamento semelhante ao das derriçadoras pneumáticas. A diferença está no fato de que cada haste vibratória é dotada de um motor de combustão interna de dois tempos, a gasolina, com uma potência nominal em torno de 1,0 cv. O sistema é composto por um tanque de combustível com capacidade aproximada de 0,50 litro. As hastes geralmente têm comprimento na faixa de 1,00 a 2,00 m.

Tais derriçadoras podem trabalhar com o motor nas costas ou com motor lateral, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 - Derrçadora motorizada.



Derricaeira a gasolina 25,6 cc 1,50m (Mitsubishi DL262-MDL)

Fonte: Nakashi (2017).

3.5 Implementos da derrçadora portátil

Dentre as operações mecanizadas da colheita, a derriça é a mais complexa e o sistema usado fundamenta-se no emprego de hastes vibratórias (dedos alinhados e/ou desalinhados). A operação de derriça é a que mais onera o custo de colheita e, no sistema manual, 75% do tempo gasto na colheita são destinados à derriça. Assim, a mecanização dessa operação pode refletir significativamente no custo final da saca de café colhido. As derrçadoras mais encontradas no mercado são Kawasaki, Husqvarna, Nakashi, Mitsubishi e Stihl. Suas diferenças básicas estão no peso, nas especificações do motor e no comprimento da haste de cada máquina, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Derrigadeira motorizada e implementos.



Fonte: stihl.com.br/stihl(2017).

3.6 Colhedoras autopropelidas

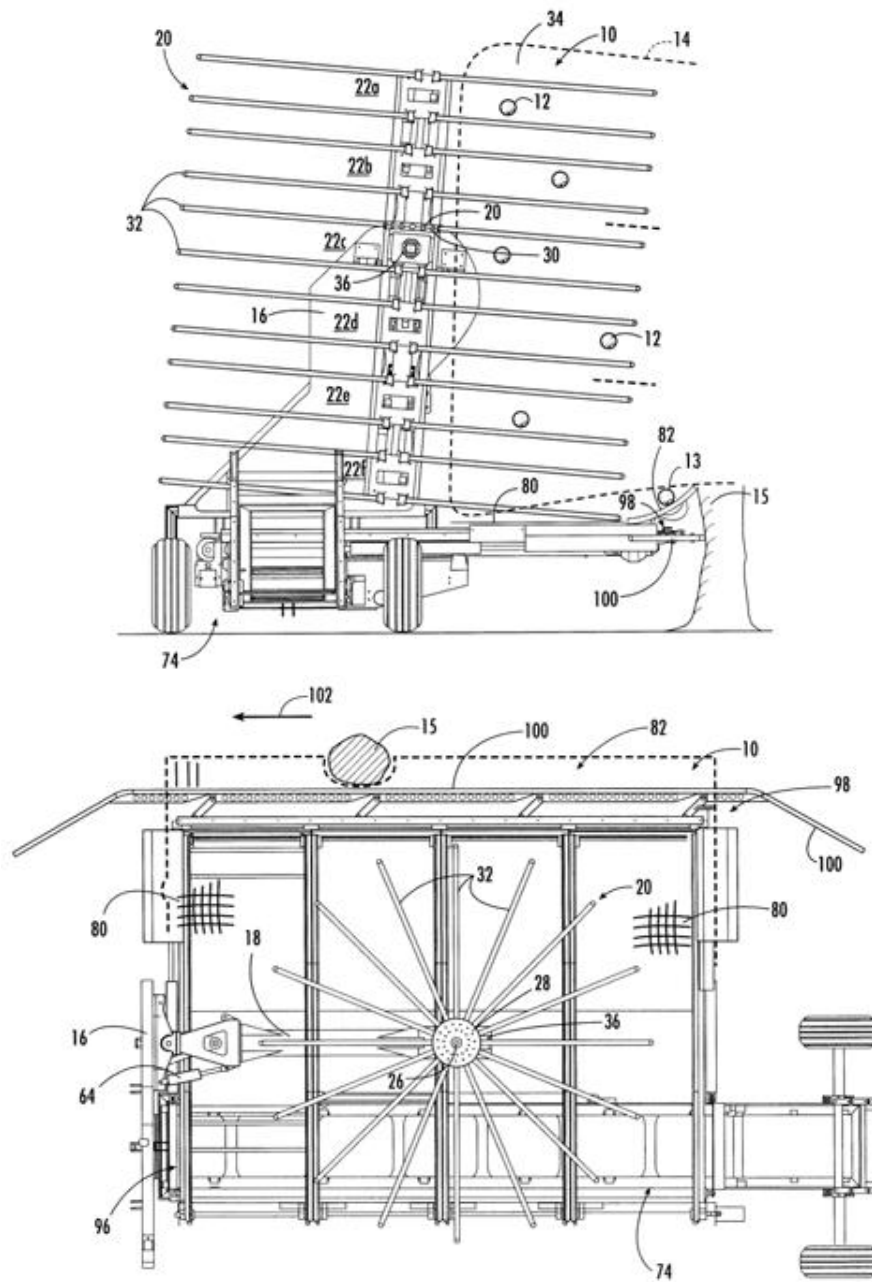
As máquinas denominadas conjugadas (tratorizadas ou montadas) podem ser de acionamento hidráulico ou pela tomada de potência (TDP) do trator. Algumas realizam as etapas de derriça, recolhimento, separação e descarga em carreta dos frutos. As automotrizes, em sua maioria, são capazes de

realizar as etapas de derrixa, recolhimento, abanação e até ensacamento dos frutos de café.

As colhedoras podem possuir dois cilindros derriçadores. O processo é realizado a cavaleiro em uma única passada nas plantas de café. Quando essas máquinas são constituídas de um único cilindro de derrixa, são utilizadas lateralmente as linhas de plantio, diminuindo a capacidade operacional e provocando menor desfolha das plantas de café, quando comparadas com a colheita manual.

Estudos mostram que uma colhedora de café com único cilindro derriçador, que inclui as varetas dispostas radialmente, tem como objetivo de penetrar nos ramos das árvores. Um sensor de distância é posicionado para visualizar o tronco, sendo que um mecanismo hidráulico ativa o mecanismo de movimento lateral do transportador e vedação em resposta ao movimento do sensor, mantendo, assim, uma distância desejável entre a árvore e o fruto derriçado, conforme mostrado na Figura 9.

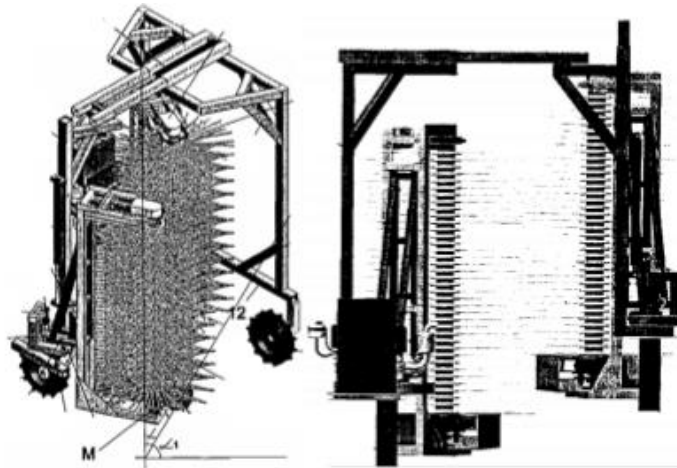
Figura 9 - Vista frontal / planta da colhedora US6178730 B1.



Fonte: INPI (2017).

Na Figura 10, é ilustrada a derriçadora automotriz oblíqua com ajuste para colheita de grãos de café e congêneres, que possui dois cilindros derriçadores com possibilidade de ajuste de largura entre pórticos por cilindros hidráulicos e diferentes inclinações de ataque às plantas. O sistema de nivelamento possibilita a utilização em terrenos planos, inclinados e com diferentes larguras entre as linhas de plantio.

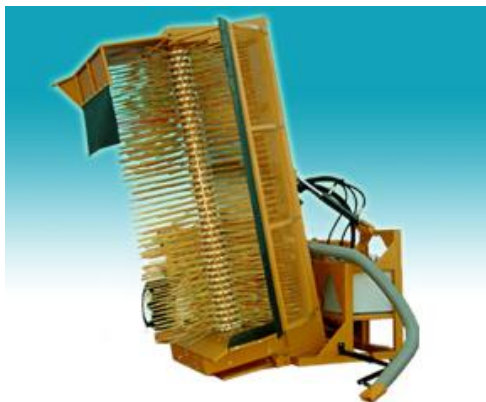
Figura 10 - Derriçadora automotriz oblíqua com ajuste para colheita de grãos de café e congêneres.



Fonte: INPI (2017).

A derriçadora Dragão Versati, fabricada pela indústria Dragão Sol e lançada na safra de 2000, possui acionamento pela tomada de potência (TDP) e pelo sistema hidráulico do trator. A colhedora opera lateralmente na linha de plantio, conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Derrçadora Dragão Versati.



Fonte: Dragão Sol (2017).

A derrçadora Kokinha, Figura 12, fabricada pela Jacto e lançada no mercado no ano de 1983, é tracionada pela barra de tração do trator, possuindo um único cilindro derrçador dotado de varetas vibratórias, trabalhando lateralmente à planta. O ajuste da inclinação lateral da colhedora possibilita a obtenção de maior eficiência e uso para terrenos com inclinações inferiores a 10%. É um implemento de baixo custo, o que permite sua utilização em propriedades menores.

Figura 12 -Derrçadora Kokinha.



Fonte: Jacto (1983).

As colhedoras automotrizes de coleta seletiva na cafeicultura, fabricadas pelas empresas Jacto, Tornado-Matão e Case IH, lançadas no mercado no ano de 2000, possuem seus próprios sistemas de tração e dois cilindros derriçadores dotados de varetas vibratórias de nylon, que trabalham mantendo a planta na posição central aos cilindros na direita e esquerda da planta.

O ajuste das varetas das colhedoras possibilita a obtenção de maior eficiência na posição e de regulagem para a colheita nas condições de alturas das plantas (topo, meio e saia), mas devido à altura e centro de gravidade, possui limitações para terrenos com inclinações superiores a 10%.

É um equipamento de alto custo de aquisição, o que restringe sua utilização a grandes propriedades, e capacidade de colheita superior ao da Kokinha, semimecanizada e manual, levando-se em conta o número de passadas em linha de colheita, desfolha, compactação do solo, áreas de manobras, conforme mostrado nos modelos das Figuras 13, 14 e 15.

Figura 13 - Colhedora Jacto K3 Millennium.



Fonte: Jacto (2017) 1ª Colhedora do Mundo.

Figura 14 - Colhedora Tornado - Matão.



Fonte: Tornado-Matão (2005).

Figura 15 - Colhedora Case IH.



Fonte: Case IH (2017).

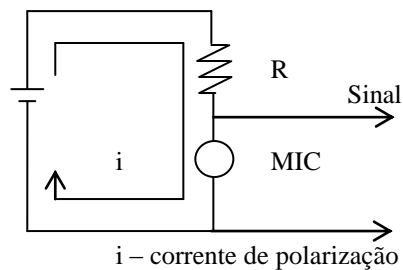
3.7 Características do microfone de eletreto

Também chamado de microfone de condensador, é um tipo de microfone que funciona tendo como base a capacitância e variações de campo elétrico. Desde a década de 1920, conhecia-se o microfone utilizando elemento condensador, mas, só em 1961, tornou-se viável, com a invenção de um tipo de folha eletreto, uma fina folha de teflon metalizado, criada por James West e Gerhard Sessler (1964).

Em razão da sua característica construtiva baseada em campo elétrico e capacitância, microfones de eletreto necessitam de circuito de polarização; tal

circuito mantém um potencial elétrico constante sobre o mesmo. (MALVINO, 2016), conforme mostrado na Figura 16.

Figura 16 - Esquema do microfone de eletreto.

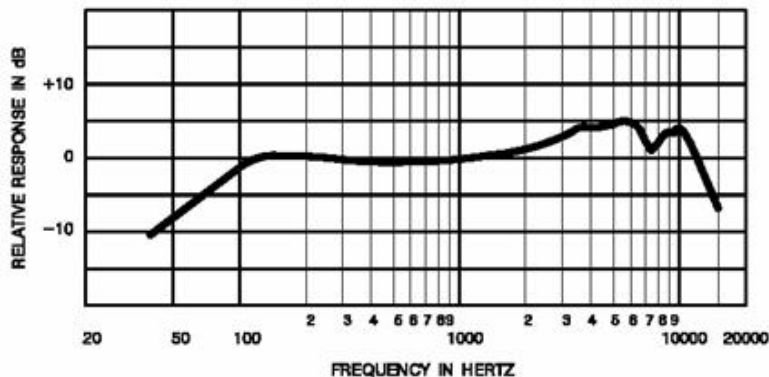


Fonte: Do autor (2017).

O microfone de eletreto é estruturalmente simples, o que o torna robusto, segundo Malvino (2016). Tais características o torna eficiente em ambiente industrial em sistema de captação sonora, embarcados.

O microfone de eletreto apresenta resposta em frequência inferior ao magnético, em função de sua estrutura simplificada; entretanto, a faixa não atendida não representa características de vibrações mecânicas, conforme mostrado na Figura 17.

Figura 17 - Gráfico do intervalo de frequência e sensibilidade.



Resposta de frequência e sensibilidade - (Intervalo de frequência: 20 Hz e 15 kHz e, sensibilidade: 2.8mV / Pa (-54.5 dBV / Pa)).

Fonte: Do autor (2015).

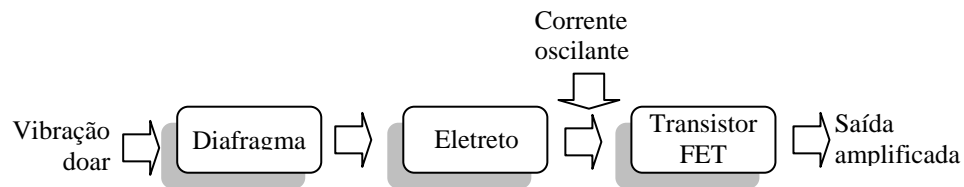
3.8 Funcionamento do microfone de eletreto

Elemento eletrônico de simples funcionamento, a passagem do som é feita por um pequeno orifício protegido por um tecido fino para evitar entrada de sujeiras, que afetaria o seu funcionamento.

Ao entrar, o som provoca a vibração de uma fina e forte película de poliéster com resistência térmica e isolamento, por meio de uma folha metalizada (folha de “Mylar” - diafragma / membrana), carregada permanentemente em relação ao terra da carcaça do microfone; por isso, o nome “eletreto”. As cargas elétricas permanentes do eletreto se alteram todas as vezes que sofrem deformações mecânicas, causadas pela movimentação, capazes de vibrar com as ondas sonoras mais brandas. Quando ocorre essa vibração, a capacitância é alterada e há uma variação da carga elétrica armazenada nas placas e essa variação resulta num sinal. A vibração causada pelo som altera a indução elétrica do capacitor (formado por uma membrana e o eletreto), que está conectada no terminal de gatilho de um pequeno transistor de efeito de campo no interior do microfone, conforme mostrado nas Figuras 18.

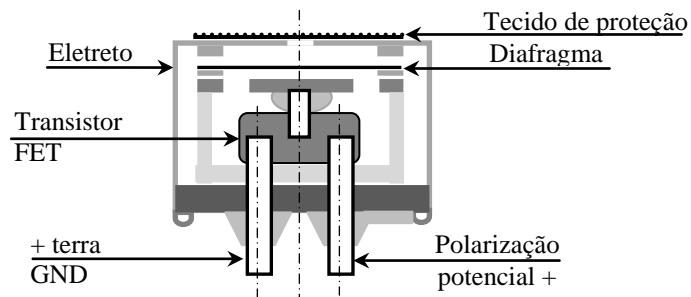
O transistor FET recebe esse pequeno sinal elétrico e o amplifica. O sinal amplificado sai pelo pino de dreno do transistor que está na saída do microfone de eletreto, conforme mostrado nas Figuras 18 e 19.

Figura 18 - Diagrama de blocos do funcionamento do microfone de eletreto.



Fonte: Do autor (2017).

Figura 19 - Microfone de eletreto em corte (polarização potencial +, e + terra GND).



Fonte: Do autor (2017).

Neste estudo e, com base nas características supracitadas, utilizou-se o microfone de eletreto para captação de vibrações na estrutura das plantas.

Para a digitalização desse sinal proveniente das vibrações, utilizou-se placa de captura de som com taxa de 22 Ks/s, que possibilitou condições de comunicação da interface dos pontos citados com o *software*.

3.9 Padrões de cores

Nessa avaliação, observou-se a transição da coloração dos frutos nas plantas. Foram realizadas análises de classificação por meio das fases dos frutos por formas de padrões de cores, correspondente a cada fase, dando como prioridade a coloração do fruto na fase cereja. O objetivo do projeto é obter a eficiência de colheita por meio dos frutos com padrões de qualidade. Com esse propósito, realizaram-se testes de cores por meio de um equipamento digital (CUL US Listed 9M30 - Coral), que proporcionou e possibilitou estabelecer esses padrões, conforme mostrado nas Figuras 20 e 21 e Tabelas 2 e 3.

Figura 20 - Padrão de cores dos frutos cereja nas plantas P1, P2, P3 e P4.



Fonte: Do autor (2015).

Figura 21 - Padrão de cores dos frutos cereja na planta P1.



Fonte: Do autor (2015).

Tabela 2 - Padrão de cores dos frutos cereja e verde das plantas P1, P2, P3 e P4.

Nome	Código	Pág. catálogo	Nome	Código	Pág. catálogo
Expresso do oriente	96RR 08/31 00YR	39	Verde Artesão	10gGY 12/225	143
Orquídea Rubi	08/409	40	-	12/225	-

Fonte: Coral (2015) Instrumento CULUS Listed 9M30 Measurement5V @500mA x-rite Model RM200.







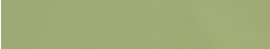
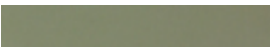




O dispositivo desenvolvido pela empresa Coral para análise de cores em superfícies com tinta foi adaptado para realizar o teste comparativo com as cores dos frutos nos padrões de aceitação. Dessa forma, utilizou-se para análise o instrumento CULUS Listed 9M30 Measurement Equipament5v @ 500ma x-rite Model RM200, conforme mostrado na Figura 22, e também na Tabela 3, da classificação do padrão de cores. Foi possível estabelecer o padrão de cores dos frutos verde e cereja e das folhas, correspondente às plantas P1, P2, P3 e P4 de aproximadamente quatro anos de idade, por meio do dispositivo digital da Coral.

Figura 22 - Equipamento para verificação do padrão de cores CULUS Listed 9M30 Measurement Equipament5V @ 500mA x-rite Model RM200.



Fonte: Coral - Colorímetro x-rite Capsure, (2015).

Tabela 3 - Classificação do padrão de cores (frutos e folhas).

Código	Nome	Cor
07YR 10/489	Encanto	
98RR 12/480	Vermelho vitoriano	
00YR 08/409	Orquídea rubi	
95RR 07/271	Vermelho terra	
96RR 08/311	Expresso do oriente	
98RR 06/206	Mogno velho	
10GY 10/225	Jaspe precioso	
10GY 10/225	Floresta pinea	
10GY 10/225	Coroa de louro	
10GY 10/225	Beira rio	
90YY 15/279	Folhas de outono	
10GY 14/135	Folhas de louro	

Fonte: Coral (2015) Equipamento CUL US Listed 9M30 Measurement5V@500mA x-rite Model RM200.

Para análise e comparação das cores encontradas na superfície dos frutos, utilizou-se o instrumento colorímetro com o método de pesquisa por imagem com o aparelho modelo CR-300 - Konica Minolta Sensing Brasil Sensing, a fim de determinar os padrões de qualidade pelo aspecto visual comparativo e especificações das cores.

Segundo estudos, ainda não há uma definição quanto aos parâmetros oficiais, pois, segundo Borém (2004), o que se tem relatado, conforme a

experiência na colheita, é a coloração avermelhada do fruto na fase cereja, passando para coloração vinho escuro. Isso ocorre na fase em que o fruto se desprende do pedúnculo e cai naturalmente com o mínimo de esforço na colheita. Então, tem-se a coloração dentro dos parâmetros de boa qualidade do fruto, com sua maturação e hidratação nos padrões aceitáveis e de qualidade e bebida, conforme mostrado nas Figuras 24 e 25.

O equipamento colorímetro portátil desenvolvido pela Konica Minolta Sensing Brasil Sensing, mostrado na Figura 23, é capaz de medir o nível de torra do café moído ou em grãos, segundo os padrões de controle da indústria. Também permite a medição de grãos verdes e cereja e é mais preciso que uma avaliação visual da cor do grão de café.

Figura 23 - Colorímetro para café CR - 300.



Fonte: Minolta Sensing Brasil Sensing (2017).

Esse equipamento possui o índice específico para café SCAA para calcular a cor, nível (leve, médio, escuro-médio, escuro), diferença a partir de um padrão e avaliação aprovado / reprovado. Além disso, dispõe da tecnologia de “Cor de Alimentos” (FCIT). O instrumento CR-410C é capaz de medir o grão inteiro, liofilizado, em pó e em formas de café solúvel. A cor predominante para um fruto próximo dos padrões de qualidade das cores nas fases, conforme Figuras 24(a,b,c,d,e), estão relacionadas à coloração da Figura 25(a,b,c),

conforme o Diagrama da Cromaticidade do Espaço de Cor (Tonalidade e Saturação) da Figura 26.

Figura 24 - Cores das fases do café: (a) verde, (b) verde/amarelo, (c) cereja, (d) cereja maduro, e) passas.



Fonte: Do autor (2017).

Figura 25 - Padrão de frutos - (a) verde; (b) verde/cereja; (c) cereja.



Fonte: Do autor (2017).

3.10 Espaço de Cor $L^*a^*b^*$

O espaço de cor $L^*a^*b^*$ foi criado após a teoria de cores opostas, em que duas cores não podem ser verdes e vermelhas ao mesmo tempo, ou amarelas e azuis ao mesmo tempo. O “ L^* ” indica a luminosidade, o “ a^* ” e o “ b^* ” são as coordenadas cromáticas; portanto, têm-se:

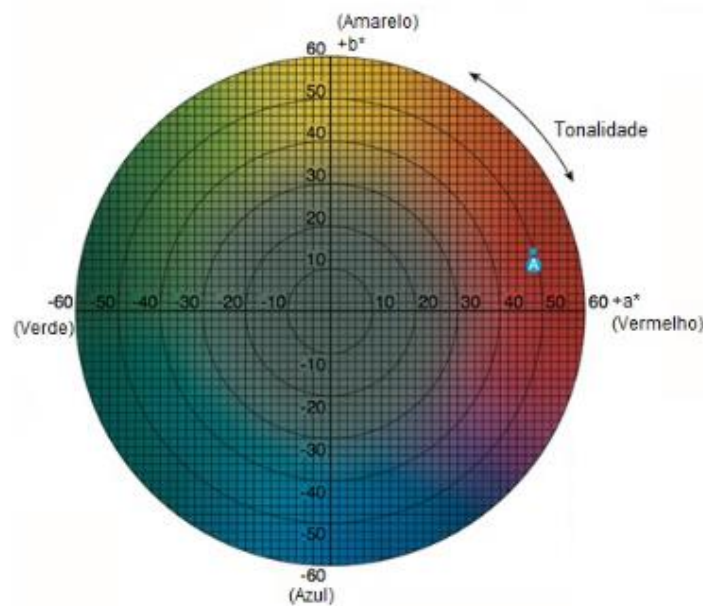
L^* luminosidade;

a^* coordenada vermelho/verde, (+a) indica vermelho, (-a) indica verde;

b^* coordenada amarelo/azul, (+b) indica amarelo, (-b) indica azul.

Um instrumento de medição faz a quantificação desses atributos de cores. Espectrofotômetros e colorímetros medem a luz refletida dos objetos em cada comprimento de onda ou em faixas específicas. Ele, então, quantifica os dados espectrais para determinar as coordenadas de cores do objeto no espaço de cor $L^*a^*b^*$ e apresenta a informação em termos numéricos. Quando mediu-se a cor do fruto “café” nas condições das fases verde e cereja, o instrumento de medição mostra os valores de “ $L^*a^*b^*$ ” apresentados nos quadrantes, conforme mostrado na Figura 26.

Figura 26 - Diagrama $L^*a^*b^*$ da cromaticidade do espaço de cor (tonalidade e saturação).



Fonte: Sensing Konica minolta.com.br (2013).

Pequenas diferenças podem ser encontradas por um instrumento de medição de cor, mesmo quando duas cores parecem iguais para um observador. Se a cor do produto não atende às especificações do padrão, a satisfação do

cliente é comprometida e a quantidade de reprocesso e custos aumentam. Por isso, é importante identificar as diferenças entre uma amostra do produto e o padrão, antes de iniciar a colheita em larga escala.

As diferenças de cores são definidas pela comparação numérica entre a amostra ao padrão. Ela indica as diferenças absolutas nas coordenadas de cores entre a amostra e o padrão e são conhecidas como deltas (Δ). Os deltas para L* (ΔL), a* (Δa) e b* (Δb) podem ser negativo (-) ou positivo (+). A diferença total, delta E (ΔE), é sempre positiva e expressa pela Equação 5:

$$\Delta E^* = [\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2]^{1/2} \quad (5)$$

ΔL^* diferença entre mais claro e escuro (+/= mais claro, -/= mais escuro);

Δa^* diferença entre vermelho e verde (+/= mais vermelho, -/= mais verde);

Δb^* diferença entre amarelo e azul (+/= mais amarelo, -/= mais azul);

ΔE^* diferença total de cor.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Verificaram-se em teste de força de desprendimento dos frutos, pelo dinamômetro digital, a massa pela balança de precisão e o dimensional com instrumento de precisão, como o paquímetro analógico. As vibrações mecânicas foram medidas por meio de um dispositivo vibratório aplicado nos ramos das plantas e um *software* “LabVIEW” (Vibrações), para realizar a interface com os instrumentos e o sistema, utilizando a “Série de Fourier”, aplicada nas diferentes condições das plantas do conjunto ramo, pedúnculos e frutos.

Foram determinadas as amplitudes e frequências de forma natural com ruído e sem ruído, nos modos de vibração da localização planta, ramo, pedúnculo e fruto, empregando como método a “Série de Fourier”, em que os frutos foram tratados como valores aleatórios. As frequências naturais foram reduzidas na medida em que evoluiu o estágio de maturação e em posições definidas, como: saia, meio e topo da planta. Com isso, foram constatadas as quedas dos frutos pós fase cereja.

Quando submetidos à vibração mecânica com frequência natural, com o tempo de excitação de 10 segundos e variando-se as posições a cada condição dos testes nos engastes do fruto ao pedúnculo, ao ramo e no engaste do ramo ao tronco e às maiores frequências de vibrações aplicadas no estágio de maturação, tornou-se mais resistente o desprendimento, devido ao agrupamento dos cachos de frutos no momento de excitação.

Foram realizados ensaios de vibrações mecânicas, em cachos de frutos verdes, cereja e passas, em que as amostras, submetidas a um tempo de 10 segundos, com frequências de 60 Hz com amplitude de 0,2 a 3,0 milímetros de deslocamento na excitação do ramo, pedúnculo e fruto e, dessa forma, obtiveram-se 150 frutos coletados. Para as amplitudes estudadas, houve uma tendência na eficiência de desprendimento dos frutos cereja ser superior à dos

frutos verdes, pois a eficiência de desprendimento aumentou na medida em que foram aumentadas as frequências e as amplitudes de vibrações e oscilações.

Contudo, todos os equipamentos demonstrados e referenciados como diferentes formas de colheitas a variados tipos de produtos, como o café, azeitona, citros, macaúba nozes, necessitam da colheita manual, semimecanizada, mecanizada com coleta seletiva, como as derriçadoras portáteis, derriçadeiras acopladas a tratores, derriçadeiras com regulagem da inclinação, com sistema autopropelido, com posicionamento central nos diferentes modos de regulagem. Esses equipamentos proporcionam coleta seletiva e de alta produtividade para as mais variadas condições de plantio e tipos de terrenos (curvas de nível).

Por isso, o desenvolvimento deste estudo visa a contribuir para as mais variadas formas apresentadas de desempenho, na produtividade, na utilização de novos materiais mais leves de alto desempenho, nos sistemas de comando, nos parâmetros de regulagem, no dimensional e peso próprio de cada equipamento / máquina, na forma do desenvolvimento do perfil e bandagem dos pneus, buscando a melhor forma de evitar a compactação do solo em decorrência do peso próprio da máquina para os novos projetos em desenvolvimento.

Este estudo também pretende contribuir para o acompanhamento dos movimentos variados das plantas provocados pelo vento em seu ambiente natural de cultura, propiciando o monitoramento por meio de um *software* e dispositivos de controle de baixo custo para os produtores de café, azeitona, nozes, macaúba, citros e também no processo de manutenção preditiva de equipamentos em instalações industriais e de laboratórios.

Este estudo visa a conhecer também as variadas formas de captar os sinais, levando-se em conta os diferentes métodos e produtos que possibilitam e executam esse processo, nos quais serão mostrados a seguir.

4.1 Sensores de vibrações

A captação dos sinais é realizada por dispositivos eletrônicos, como os sensores de vibrações, tais como acelerômetro, eletrodo e cápsula de microfone de eletreto, responsáveis por enviar os sinais por meio da interface do *software* “LabVIEW”, conforme mostrado nas Figuras 27.

Figura 27 - Dispositivos eletrônicos de captação de sinais.



Fonte: Do autor (2015).

4.2 Aspectos de qualidade dos frutos

Para determinação dos aspectos e padrões de qualidade do grão de café, foi necessário classificar diversos aspectos quanto à cor, maturação e quantidade de grão por rama do café tipo *Arábica cultivar - RUBI*, conforme mostrado na Figura 28(a,b,c).

Figura 28 - Tipos de grãos: (a) verde, verde / cereja, cereja; (b) verde; (c) cereja.



a)

b)

c)

Fonte: Do autor (2015).

Vários aspectos favorecem a qualidade do café, como: temperatura, altitude, umidade, calagem, gessagem, adubação, capinas e podas. Todos esses elementos influenciam no preço final do café, bem como na sua aceitação pelo mercado consumidor. Portanto, esses fatores devem ser levados em consideração durante todas as etapas do seu cultivo. Uma vez que a lavoura de café, uma cultura perene, é muito exigente quanto ao manejo.

Segundo Teixeira (2017), do Centro de Produções Técnicas CPT, Viçosa, Minas Gerais, é o fruto cereja que permite obter um café de melhor qualidade, com as características de aroma e sabor desejáveis. Por esse motivo, a colheita deverá ser feita quando houver cerca de 90% de fruto cereja na lavoura. Sendo assim, antes de iniciar a colheita, o cafeicultor deve inspecionar todas as áreas produtivas, onde a maturação dos frutos estiver mais avançada, para que os grãos de café não passem do ponto de colheita. Durante esse tempo, os cafeeiros restantes chegarão ao ponto de maturação ideal para a colheita.

No primeiro ano, os cafeeiros necessitam de temperaturas em torno de 30°C durante o dia e 23°C durante o período da noite. Nos anos subsequentes, a planta produz bem em temperaturas em torno de 23°C durante o dia e 17°C durante a noite. Fora dessa faixa de temperatura, o cafeeiro não encontra condições favoráveis de desenvolvimento.

A umidade exigida pelo cafeeiro depende de sua fase de desenvolvimento compreendida de outubro a maio, pois a brotação e a frutificação necessitam de maior volume de umidade do solo. Já de junho a setembro, no período de colheita e descanso, a planta requer menos umidade.

A altitude ideal para o cultivo de café varia entre 400 e 1200 m. Entretanto, o cafeicultor deve ficar atento à ocorrência de ventos fortes, para implantar quebra-ventos, se houver necessidade.

A gessagem é recomendada para corrigir um solo muito ácido contaminado por Alumínio tóxico e, nesse caso, precisa, sim, ser incorporado ao solo, haja vista que, por ser um Óxido de Cálcio altamente reativo, o mesmo empedra ou reage muito rápido com o meio. A colagem também precisa ser incorporada ao solo para que a mesma tenha 100% de sua PRNT ativa.

A adubação orgânica é mais eficiente quando se tem disponibilidade da mesma em minha propriedade e dessa maneira em muitos casos, posso abrir mão de comprar alguns adubos minerais. (esterco bovino ou cama de frango), pois auxilia no desenvolvimento da planta. Já adubação de formação (Nitrogênio) deve ser feita no primeiro ano após o plantio do cafeeiro, ou seja, de setembro a março.

As capinas podem ser feitas de forma manual, mecânica e/ou química. As manuais são feitas entre 30 a 45 dias. As mecânicas são feitas com derriçadoras, contanto que não sejam usadas as grades de discos, nem as enxadas rotativas. As capinas químicas são feitas anualmente, antes da colheita, com pré-emergentes.

Como os ramos do cafeeiro perdem o vigor após várias colheitas, são necessárias podas para a sua retirada. Isso facilita a brotação, além de aumentar a perenidade da planta. Outras podas também são necessárias para arejar os cafeeiros em lavouras muito densas, reduzindo, assim, o “chochamento” dos grãos de café, entre outros benefícios.

A metodologia utilizada para este trabalho foi avaliar a eficiência da colhedora, o comportamento do produto em relação aos movimentos gerados pelo sistema, nas fases verde, cereja e passas, para a condição desejável, a fim de não prejudicar a próxima florada, mediante os valores encontrados em laboratórios. Esses valores foram confrontados com os testes de desprendimento (tração do grão no pedúnculo) em relação à rama, obedecendo às variadas etapas de crescimento, até atingir a fase de coleta.

O experimento foi desenvolvido e montado no laboratório do Centro de Desenvolvimento de Instrumentação Aplicada à Agropecuária - Cedia, da Universidade Federal de Lavras - UFLA, e foi composto dos seguintes elementos:

- a) pé de café da espécie *Coffea arabica Cultiva-RUBI*, nas fases do fruto verde, cereja e passas;
- b) variador de velocidades, com um elemento mecânico excêntrico para simular as vibrações nos ramos primárias, secundárias, terciárias e outras. (ortotrópicos, plagiotrópicos);
- c) microfone de eletreto para captação dos sinais de vibrações;
- d) computador notebook, para analisar os dados para a interface com o *software* “LabVIEW”;
- e) osciloscópio para analisar o espectro do sinal de frequências e as amplitudes;
- f) balança de precisão para a pesagem dos grãos de café e elementos eletrônicos (máx. 320g; mín. 0,02g);
- g) máquina universal para teste de tração de cap. 100 kg máximo;
- h) acelerômetro portátil para calibração do experimento;
- i) paquímetro digital 200 mm - (resolução 0,05mm);

- j) aparelho digital portátil para teste de desprendimento, conforme mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Itens de consumo permanente.

ITENS DE CONSUMO E PERMANENTE			
Item	Descrição	Unidade	Valor R\$
1	Paquímetro digital resolução 0,05mm	1	250,00
2	Sensor MEMS motion LGA14 LIS302DL - ST	1	1.000,00
3	Microfone eletreto (condensador)	3	30,00
4	Aparelho digital portátil para teste de desprendimento	1	2.000,00
5	Notebook	1	2.500,00
6	LabVIEW™ Student Software - modulo vibrações	1	260,20
7	Osciloscópio	1	1.500,00
8	Máquina universal para teste de tração (cap. 100kg máx.)	1	38.000,00
9	Acelerômetro portátil de calibração	1	500,00
10	Total	11	46.040,20

Fonte: Do autor (2016).

Para a realização dos testes, devem-se considerar as variáveis abaixo descritas, para analisar o tipo de café “*Arábica Cultivar-RUBI*, coletado no Departamento de Cafeicultura da UFLA”.

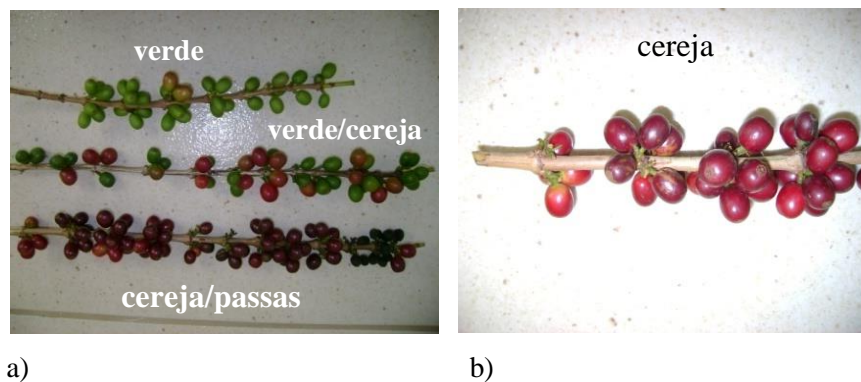
- a) Diâmetro do caule principal “tronco” (mm),
- b) Diâmetro do pedúnculo (mm),
- c) Diâmetro médio do grão (mm),
- d) Comprimento médio do grão (mm),
- e) Peso do grão verde, in natura e cereja (g),
- f) Distância entre nós nas ramificações (mm),
- g) Características de fases, verde / cereja / passas (qualidade),
- h) Teste de desprendimento do grão no pedúnculo (kgf ou N),

- i) Análise do espectro em osciloscópio (amplitude / ciclos),
- j) Análise das vibrações: amplitude comprimento de onda, ciclo e frequência - (amplitude x frequência) - (mm x Hz).

Para isso, foi necessário conhecer cada tipo de café com suas características correspondentes às fases verde, cereja e passas, nas condições do estádio de maturação dos grãos em relação ao posicionamento dos cachos e dimensional, para a utilização mais adequada do instrumento às diversas posições do grão no pedúnculo e no ramo do cafeeiro no desenvolvimento desse projeto, conforme mostrado nas Figuras 29(a,b), 30(c,d), 31(e,f, g) e 32(h), nas fases do café.

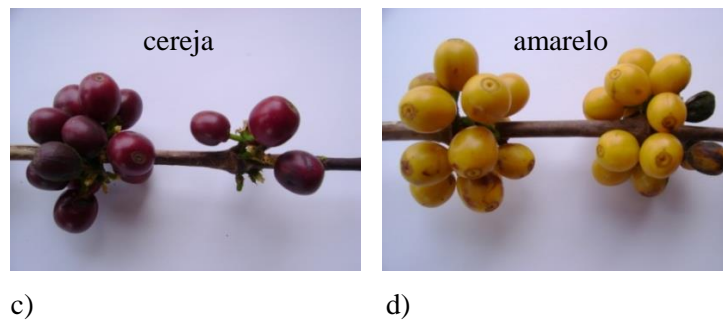
4.3 Fases do café no projeto

Figura 29 - Ramo / fruto / pedúnculo: (a) verde, verde / cereja, cereja / passas, (b) cereja.



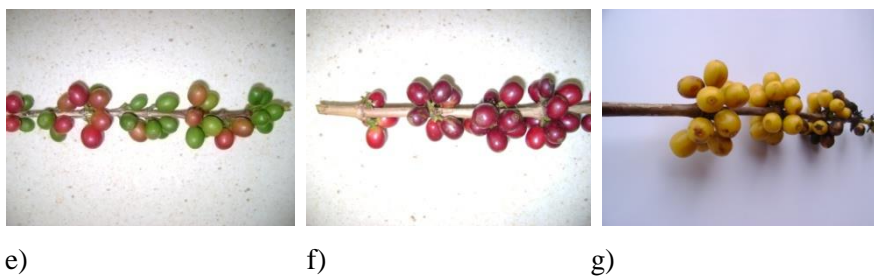
Fonte: Do autor (2016).

Figura 30 - Ramo / fruto / pedúnculo: (c) cereja, (d) amarelo.



Fonte: Do autor (2016).

Figura 31 - Aspectos de qualidade dos grãos: (e) verde/cereja, (f) cereja, (g) amarelo.



Fonte: Do autor (2015).

Figura 32 - Dimensional dos grãos: (h) diâmetro, comprimento, peso.



h)

Fonte: Do autor (2015).

Para a fixação dos sensores de medições das vibrações / oscilações, como os acelerômetros, microfone de eletreto e eletrodo, foi necessário conhecer o peso de cada sensor e o peso médio do grão de café, de acordo com as suas fases: verde, cereja e passas para os tipos Mundo Novo e Icatu, para estabelecer o balaço e o equilíbrio das massas, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Peso médio comparativo dos grãos e dos sensores.

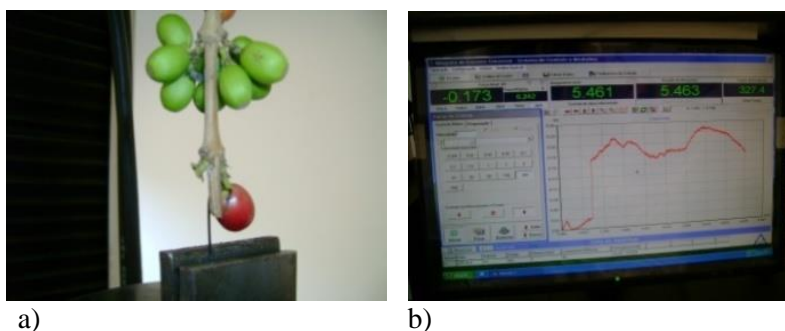
Especificações	Tipo de Café		Tipo dos sensores		
	Mundo Novo	Icatu	Acelerômetro Datasheet Search	Microfone Eletreto	Eletrodo 3M
Peso	-	-	0,032g	0,174g	0,250g
	0,19g	0,89g	-	-	-

Fonte: Do autor (2015).

4.4 Testes preliminares

Para a realização do teste de tração, o ramo de café foi fixado na garra do conjunto de mordentes do dispositivo superior e na fixação inferior por meio de um dispositivo em forma de laço posicionado em torno do grão de café e do pedúnculo engastado ao ramo. Esse teste foi realizado com o auxílio de uma célula de carga sensível que, por meio da interface com o *software*, possibilitou coletar e fornecer dados preliminares de tensão *versus* deformação, conforme mostrado na Figura 33 (a, b).

Figura 33 - Teste de tração: (a) fixação inferior / superior do fruto no pedúnculo, (b) gráfico tensão x deformação.



Fonte: Do autor (2013).

Para confrontar os dados existentes em estudos realizados e os testes preliminares, foram realizados testes de desprendimento do fruto em plantas em laboratório, para definição dos dados desse projeto para as fases verde e cereja, das espécies *Mundo Novo* e *Icatu*, conforme mostrado na Tabela 6 da Média da força de desprendimento do café Figura 34 e da Força de Desprendimento do café *Mundo Novo* e *Icatu*.

Tabela 6 - Média da força de desprendimento do café *Mundo Novo* e *Icatu*.

Frutos A e B	Espécies de café	
	Fruto verde	Fruto cereja
	Força de desprendimento média	
(A) <i>Mundo Novo</i>	12 (N) 1200 (gf)	8(N) 800 (gf)
(B) <i>Icatu</i>	14 (N) 1400 (gf)	12 (N) 1200 (gf)

Fonte: Do Autor (2013).

Nota: As médias variam conforme o período de maturação segundo “Tukey”.

Figura 34 - Força de desprendimento do café *Mundo Novo e Icatu*.



Fonte: Do autor (2015).

4.5 Captação de sinais

Consiste em mostrar a captação pelo *software* “LabVIEW”, que, por meio dos sinais dotados de funções, permite interpretar e analisar os dados do espectro gerados pelas tabelas, e definir as oscilações do fruto através da entrada de sinais, sons e sinal limpo do tempo e transformada no experimento, conforme as seguintes equações:

Equação 3: Saída do sinal limpo = Vibrações.

Entrada => Tempo (s) = Sinal (vibrações + som) - (som) = Saída sinal limpo => (Vibrações), portanto, tem-se:

$$T \Rightarrow (V_b + S_r) - (S_i) = V_{sl} \quad (3)$$

T – Tempo (s);

V_b – Vibrações;

S_r - Som ruído;

S_i - Som inicial;

V_{sl} - Vibrações (saída sinal limpo).

Equação 4: Saída do sinal limpo = Frequência.

Entrada => Transformada = Sinal (vibrações + som) - (som) = Saída sinal limpo => (Frequência), portanto, tem-se:

$$T_r = (V_b + S_r) - (S_i) = F_{sl} \quad (4)$$

T_r - Transformada;

V_b - Vibrações;

S_r - Som ruído;

S_i - Som inicial;

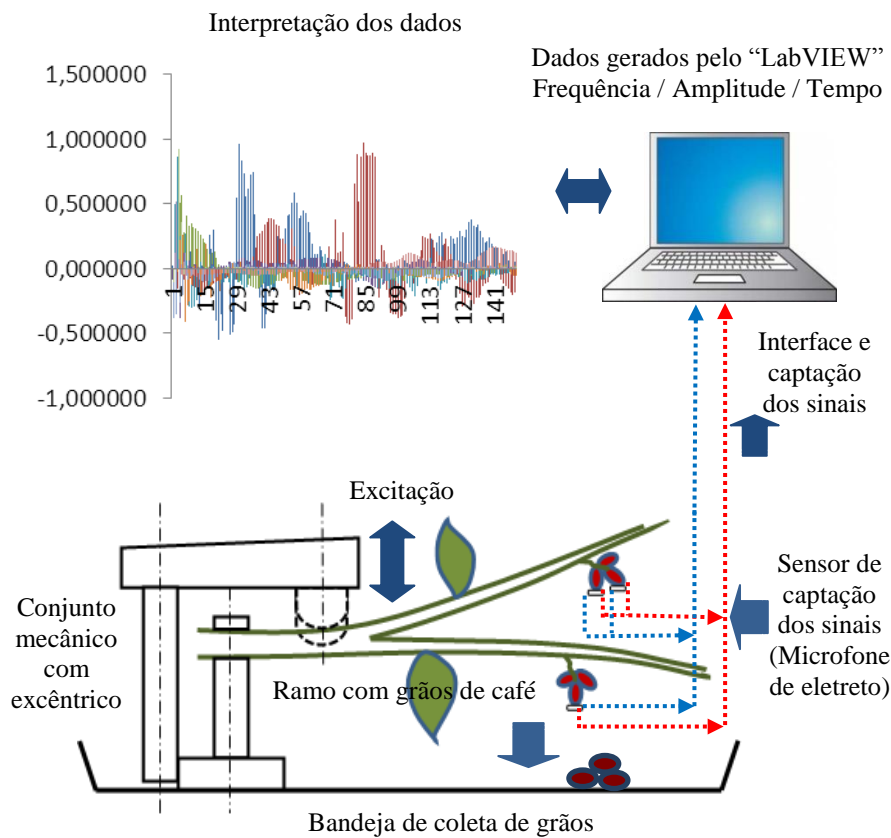
F_{sl} - Frequência (saída sinal limpo).

Para o funcionamento desse sistema, é necessário um dispositivo que contém um motor que gira com velocidade que é dada pela frequência dos pulsos recebidos, sendo o tamanho do ângulo de rotação diretamente relacionado com o número de pulsos aplicados, pois permite utilização em movimentos precisos e tem a capacidade de desenvolver altas velocidades, e também a possibilidade de controlar seus movimentos de forma precisa. Utiliza-se em equipamentos que requerem precisão, sendo capazes de realizar a movimentação do eixo com o dispositivo excêntrico acoplado em sua extremidade, de forma a vibrar os ramos ortotrópicos e plagiotrópicos, no qual estão os grãos de café.

O *layout* do mecanismo de vibrações representa os principais elementos da estrutura do projeto, que, em sua representação, são analisados os dados pelo circuito, que, por sua vez, é capaz de monitorar pelo *software* “LabVIEW”, o funcionamento completo do projeto, além de como mostrar o processo de avaliação das vibrações na colheita dos grãos de café com os dispositivos

microfone de eletreto (sensores) adaptados nos frutos e ramos, e permite a seleção dos melhores frutos, a quantificação dos frutos coletados, geração e aplicação dos dados de vibrações e frequências fornecidos na sua coleta, afim de melhorar também a eficiência de coleta seletiva da produção cafeeira, conforme mostrado no Fluxograma 35.

Figura 35 - *Layout* do mecanismo de vibrações / interface no *software* “LabVIEW”.



Fonte: Do autor (2016).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

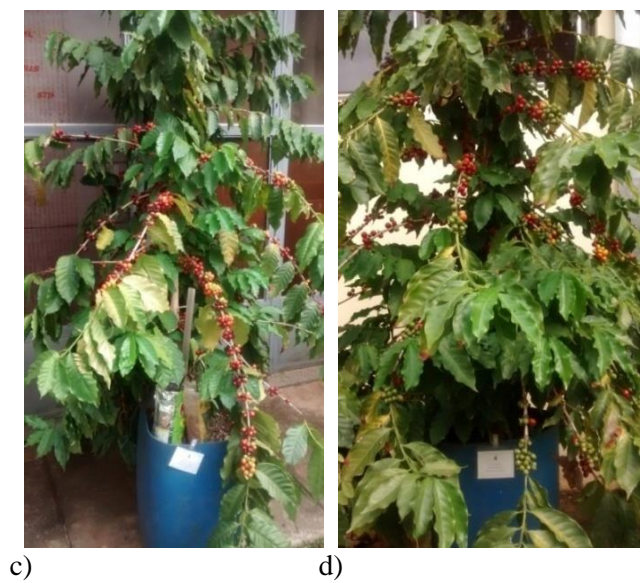
Conforme o comportamento relacionado ao crescimento das plantas da espécie de café tipo *Arábica cultivar-RUBI*, houve a oportunidade de acompanhar o desenvolvimento dos frutos correspondentes às fases verde, cereja e passas. Também acompanhou-se o crescimento da planta, a resistência encontrada pelo caule principal, decorrente da seção transversal do tronco, assim como, das ramas, devido à localização da maioria dos grãos cereja, distribuídos na região da saia, do meio e da copa das plantas. Por sua vez, obtiveram-se as variações na flexão da rama em relação às fases do fruto, considerando os dimensionais, a massa dos frutos em suas diferentes formas, conforme mostrado nas Figuras 36 (a,b) e Figura 37 (c,d).

Figura 36 - Formação das plantas: (a) P1, (b) P2 do experimento.



Fonte: Do autor (2016).

Figura 37 - Formação das plantas: (c) P3, (d) P4 do experimento.



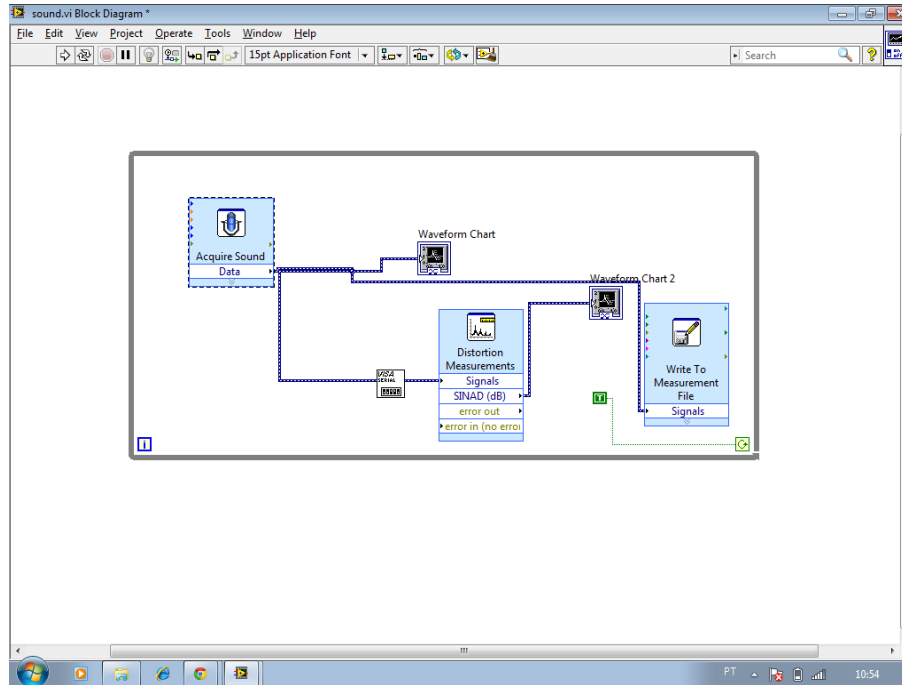
Fonte: Do autor (2016).

5.1 Interface do microfone de eletreto com o *software*

O sistema tem como principal objetivo proporcionar e compilar valores, por meio dos diagramas de blocos, de ligação e vibrações citados em sequência, que foram estabelecidos para parâmetros de vibrações, por meio da coleta de dados em forma de ruído e de forma pura (sem ruído), extraídos do *software* “LabVIEW”, conforme mostrado na Figura 38, o Diagrama de blocos das vibrações.

Para a realização dos testes, foi necessária a montagem do instrumento de comunicação, que por meio do instrumento microfone de eletreto permite levar os dados coletados de oscilações até o programa. Foi necessária a montagem de componentes eletrônicos para essa captação. O sistema tem como principal objetivo captar os movimentos indiretos e os sons emitidos que, através do programa, é capaz de convertê-los em vibrações, pelo diagrama do circuito de captação de sons e vibrações citados em sequência. Estabeleceram os dados para parâmetros de vibrações através de coleta de dados em forma de ruído e de forma sem ruído, extraídos do “LabVIEW” TMStudent *Software*, módulo vibrações, conforme mostrado na Figura 38.

Figura 38 - Diagrama de blocos de sons e vibrações do *software* “LabVIEW”.



Fonte: National Instruments Brazil Ltda (2011).

5.2 Dados gerados pelo *software* “LabVIEW”

As vibrações mecânicas são grandezas que podem ser realizadas por dispositivos mecânicos capazes de realizar coleta seletiva e, por conseguinte, o estudo dos parâmetros de frequência e de amplitude, importantes para a concepção de um projeto de máquina colhedora, equipamento de derriça e/ou implemento, contribuírem com as especificações, objetivou-nos nesse trabalho avaliar o efeito das oscilações, da frequência e amplitude de vibrações para a variedade de café e, a condição de maturação sobre a eficiência de colheita.

Os testes de vibrações foram realizados em laboratório, utilizando um sistema de excitação por excêntrico com variação de velocidades e com o auxílio de um programa específico “LabVIEW” sendo definidas as frequências e as

amplitudes. As ramas das plantas de café da variedade *Mundo Novo* foram testadas com oscilações em diferentes movimentos indiretos e em várias direções, apresentando comportamento de movimentação relacionados com as frequências e amplitudes. Esses dados foram gerados e registrados pelos dados do bloco de notas do “LabVIEW” e foram migrados para o “EXCEL”, transformando-os em dados para serem usados em parâmetros de regulação dos equipamentos da coleta seletiva do setor cafeeiro.

5.3 Calibração

A calibração de instrumentos é primordial para segurança nos diferentes tipos de segmentos em diversas áreas, tais como industriais, agropecuárias, médica e afins. Sendo assim, o medidor de vibrações deste projeto é um instrumento que necessita ser comparado com instrumentos de referência, garantindo, assim, a sua eficiência para a atuação no setor produtivo.

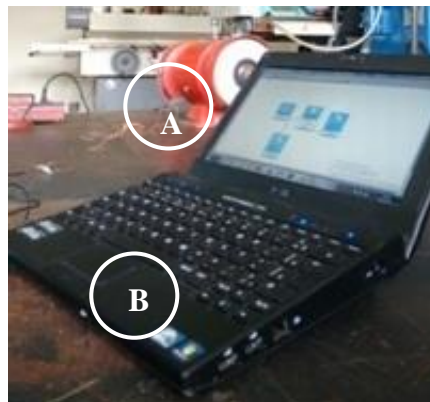
A importância desse tipo de procedimento está diretamente ligada aos dispositivos industriais e de culturas. Por mais simples que pareça ser o processo vibratório, é necessário avaliar, levando-se em conta as variações, custos e outros aspectos que possam indicar qualquer tipo de anormalidade e a prejudicar a produção. A fim de facilitar os processos de análises para determinar a qualidade dos equipamentos ou as causas dos níveis de vibrações oriundos de problemas mecânicos, que podem ocasionar erros e falhas mais graves, há necessidade de aferição constante. A aferição tem o potencial de realizar a revisão dos valores, pois se não recebem a devida atenção, a medição da vibração pode mascarar os resultados.

Conforme as análises realizadas através da estrutura montada, para todos os dados, como a força de desprendimento do fruto que estão diretamente relacionados com o estudo desse comportamento a cada fase, foi necessário apresentar em forma de coleta de dados, o que nos possibilitou as relações com

os valores de vibrações, fundamentados em dados que permitam o seu comportamento. Portanto, o estudo de caso apresentado nos vários aspectos, como amplitude, frequência, dimensão e peso do fruto e suas fases (verde, cereja e passas), são fatores predominantes, com variáveis fundamentais nos resultados, bem como nas interferências das diversas formas e hipóteses encontradas no desenvolvimento.

Para atender às exigências do projeto, foi definido e testado o parâmetro de regulagem de forma empírica, por meio de instrumentos que permitiram extrair valores de comportamento do dispositivo, buscando comparações, validações e a calibração dos instrumentos utilizados nas medições do projeto. Realizou-se a calibração do microfone de eletreto, por meio de um motor de 60Hz e rotação 1750rpm. Fixou-se na área externa da sua carcaça, conforme posição “A” e, o programa “LabVIEW” para coleta de dados, posição “B”, conforme mostrado na Figura 39.

Figura 39 - Calibração do microfone de eletreto com motor de frequência de 60 Hz.



Fonte: Do autor(2013).

5.4 Experimento

Para realização dos testes, foi necessário realizar a calibração utilizando equipamento que comprova o funcionamento do sistema com a estrutura preparada para coletar os dados relacionados às vibrações. Esse equipamento permite confrontar os dados do *software* “LabVIEW” para analisar o comportamento das oscilações nas formas e fases do fruto estudadas.

Para realizar o levantamento de dados nas plantas, foi montada uma bancada com o sistema de análise. Com isso, o instrumento utilizado foi o microfone de eletreto, que, ligado a um programa e um equipamento vibratório com mecanismo excêntrico, possibilitou-nos simular as vibrações nas ramas da planta, onde estão localizados os frutos com suas características dimensionais e de peso. A bancada consiste em um notebook com programa “LabVIEW”, um mecanismo de vibrações e os conjuntos de microfone de eletreto, responsáveis pela captação das vibrações fornecidas pelo dispositivo mecânico vibratório, conforme mostrado nas Figuras 40, 41 e 42.

Figura 40 - Bancada do experimento para análise de vibrações.



Fonte: Do autor (2015).

Figura 41 - Instalação do dispositivo de captação das vibrações - (a) e (b)
Fixação no ramo.



a)

b)

Fonte: Do autor (2016).

Observou-se que o posicionamento dos instrumentos de controle foram instalados na posição horizontal, proporcionando medições de forma indireta ao fruto e a excitação também aplicada de forma horizontal. O dispositivo tem a capacidade de captar deslocamentos na posição horizontal em relação à posição do tronco ou da planta e indicar o quanto ele pode se movimentar, conforme mostrado na Figura 42(c,d).

Figura 42 - Posicionamento do microfone de eletreto no ramo (c) e (d).



c)

d)

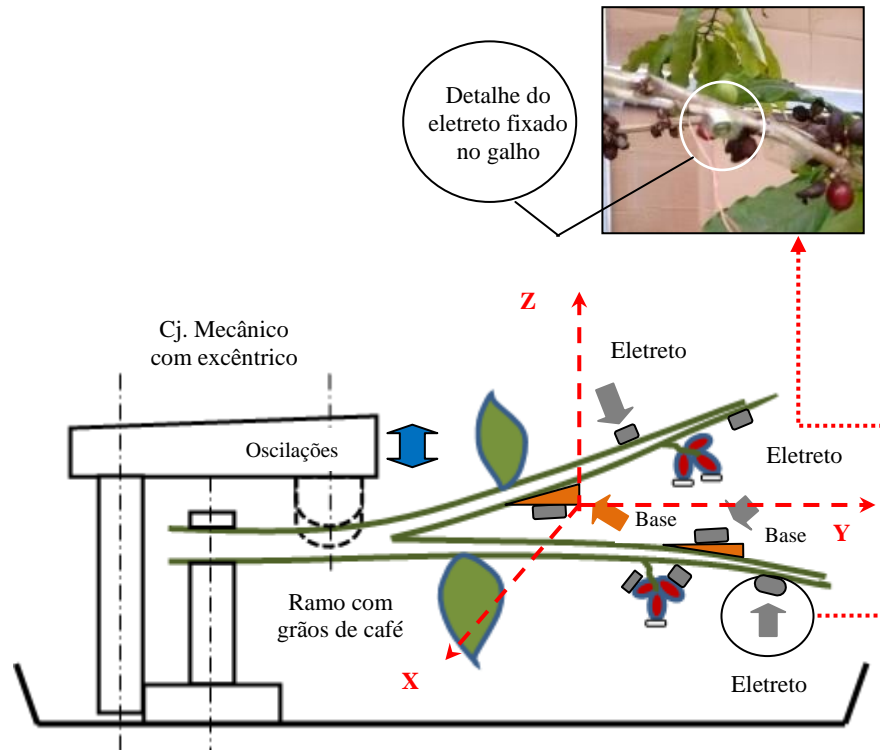
Fonte: Doautor (2016).

Uma das dificuldades encontradas foi fixar o eletreto no fruto ou na base do ramo e mantê-lo na posição horizontal em relação dos eixos x, y e z, que com essa variação, já nos traz uma grande possibilidade de posicionamento, conforme já mostrado nas condições das plantas e dos frutos. Estudos poderão ser realizados de forma diferente e independente, de forma estática em relação ao ponto fixo do posicionamento do excitador em dispositivo mecânico de vibrações, conforme mostrado no sistema abaixo.

Nessas análises de vibrações nas plantas de café, verificou-se que a movimentação dos frutos está diretamente relacionada ao posicionamento cartesiano do dispositivo “microfone de eletreto”, que influencia diretamente nas posições x, y, z. Por isso, levou-se em consideração que o dispositivo vibratório deverá permanecer próximo à posição horizontal, de forma que a excitação da

planta tenha movimentos coordenados na relação tronco principal ramas secundárias da planta e que o agrupamento dos frutos em diferentes formas e posicionamentos apresentam comportamentos diferentes, conforme mostrado na Figura 43.

Figura 43 - Posição cartesiana do instrumento na planta.



Fonte: Do autor (2016).

5.5 Análise estatística

Os dados levantados de amplitude e frequência das vibrações das plantas P1, P2, P3 e P4, bem como os dados de desprendimento dos frutos, peso e dimensões, foram tabulados em planilhas eletrônicas para realização do cálculo da somatória das médias e, posteriormente, foram submetidos a análises de

correlações, utilizando o *software* “Sisvar” (FERREIRA, 2001). A correlação está diretamente relacionada com as variações encontradas pela “Série de Fourier”, conforme mostra a Equação 6.

$$x(t) = a_0 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{2\pi n}{T} t + b_n \sin \frac{2\pi n}{T} t \right) \quad (6)$$

As análises de correlação foram realizadas no desprendimento dos frutos verde, cereja e passas, no peso e dimensional, separadamente, para melhor interpretação dos resultados. As correlações foram realizadas com os dados obtidos no dia da coleta e a média dos dados de três dias posteriores à coleta de dados da força de desprendimento. As correlações da frequência e amplitude das vibrações foram realizadas com base-se na “Série de Fourier”.

Levando-se em consideração os dados existentes do desprendimento dos frutos e os dados levantados nas plantas P1, P2, P3 e P4, localizados no Laboratório Cedia - DEG-UFLA, foram coletados em posicionamentos diferentes, tais como saia, meio e copa, nas condições verde, cereja e passas.

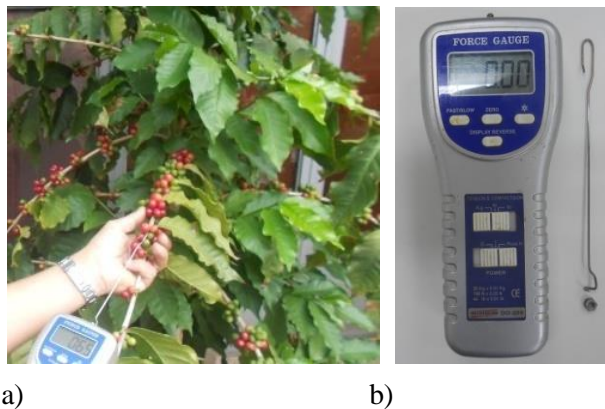
Foram encontrados valores característicos para o experimento da “Avaliação da Colheita do Café por Vibrações”, que nos possibilitou encontrar valores em 125 amostras em lote no total de 2000 (duas mil) captações de sinais executadas no mesmo momento, considerando o tempo de 10 segundos de excitação, a fim de atender aos parâmetros de regulação dos dispositivos e máquinas, bem como acompanhamento do comportamento da planta em suas características de formação, conforme exposto na Tabela 7 de desprendimento e dimensional dos frutos nas plantas P1, P2, P3 e P4.

Objetivou-se com o referido procedimento verificar quais parâmetros relevantes considerados da amplitude e frequência estão relacionados para

melhor ajuste dos equipamentos e melhor qualidade dos frutos sem alterar as características e integridade das plantas.

Mediante esses fatores, foi necessário obter o conhecimento do peso dos frutos nas mais variadas formas e fases, para que fosse possível avaliar o equilíbrio e a relação fruto “*versus*” dispositivo. Os frutos foram pesados com suas respectivas dimensões em sua condição de fases citadas coletados nas regiões saia, meio e copa de cada planta. Realizou-se a coleta de trinta (30) amostras, conforme mostrado na Figuras 44 e Tabela 8 do resumo da força de desprendimento do fruto.

Figura 44 - Teste de força de desprendimento do fruto (a) e (b) dispositivo digital.



Fonte: Do autor (2015).

5.6 Desprendimento dos frutos

Os dados dos testes de desprendimento dos frutos das fases verde, cereja e passas foram analisados e discutidos, a fim de determinar o peso e o dimensional médio dos frutos.

Coletados em diferentes posições, como saia, meio e topo das plantas P1, P2, P3 e P4, determinaram-se os valores mínimos e máximos, conforme Tabela 15. Esses valores nominais, peso e o dimensional foram determinantes para especificar o tipo de instrumento a ser utilizado no projeto.

Os valores foram coletados mediante o teste de desprendimento no qual utilizou-se o dispositivo manual eletrônico “*Force Gauge*”, representados na Tabela 7 do Resumo de força média de desprendimento dos frutos nas plantas P1, P2, P3 e P4, conforme Figura 44.

Tabela 7 - Resumo da força média de desprendimento, em kgf, dos frutos nas plantas P1, P2, P3 e P4^(*).

Planta	P1					P2					P3					P4				
	Verde			cereja	passa	Verde			cereja	passa	Verde			cereja	passa	Verde			cereja	passa
Posição	saia	meio	copa			saia	meio	copa			saia	meio	copa			saia	meio	copa		
min	0,31	0,3	0,21	-	-	0,27	0,23	0,21	0,18	0,07	0,24	0,25	0,24	0,2	-	0,33	0,26	0,23	0,21	-
max	1,21	1,16	1,23	-	-	1,39	1,24	1,17	0,19	0,52	1,32	1,03	1,27	1,12	-	1,22	1,02	1,01	0,89	-
somat.	20,76	19,49	19,83	-	-	20,52	16	15,88	17,92	6,97	19,5	16,54	17,77	18,24	-	18,54	16,29	14,64	15,14	-
media	0,69	0,65	0,66	-	-	0,68	0,53	0,53	0,6	0,23	0,65	0,55	0,59	0,61	-	0,62	0,54	0,49	0,5	-

Fonte: Do autor (2016).

(*)P1, P2, P3, P4 => Plantas.

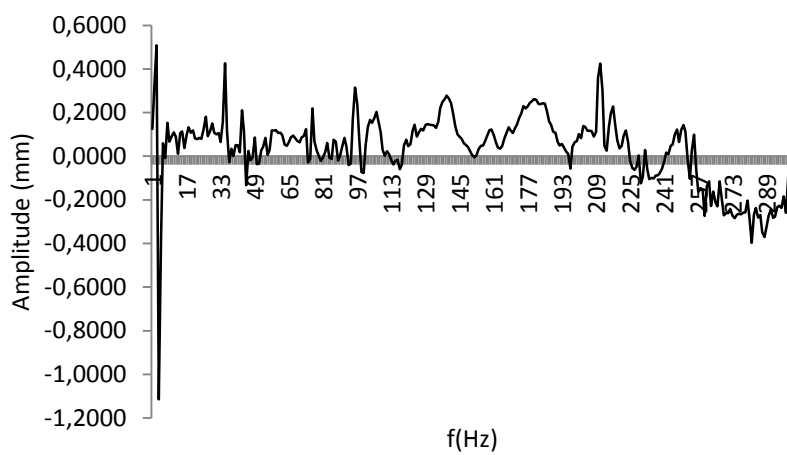
Após realizados os testes de desprendimento dos frutos nas condições das plantas com idade de aproximadamente três anos de plantio e, com os frutos coletados nas posições da saia, meio e topos das plantas, iniciaram-se os testes de vibrações com os dispositivos de excitação e posicionamento dos sensores nos ramos plagiotrópicos para a captação dos sinais.

Mediante o levantamento das amostras nas plantas P1, P2, P3 e P4, pelo sistema implantado no laboratório Cedia e com a instalação de instrumentos para a coleta de dados afixados nos ramos plagiotrópicos das plantas, observou-se que no lote de 125 amostras de cada planta encontraram-se valores de vibrações nas condições de frequência e amplitude.

O levantamento mostrou os limites máximos e mínimos para referência de parâmetros de regulagem, que poderão nos auxiliar na performance e nos padrões de qualidade dos frutos coletados, bem como nos equipamentos, conforme mostrado nos dados das Tabelas 10 e 11 e, nos Gráficos 1, 2, 3, 4, 5 e 6, das plantas P1, P2, P3 e P4.

O gráfico 1 representa o comportamento de um lote de trezentas amostras em um tempo de 10 segundos, com frequências de oscilação aplicadas na planta P1, conforme mostrado no Gráfico 1 de Amplitude e Frequência.

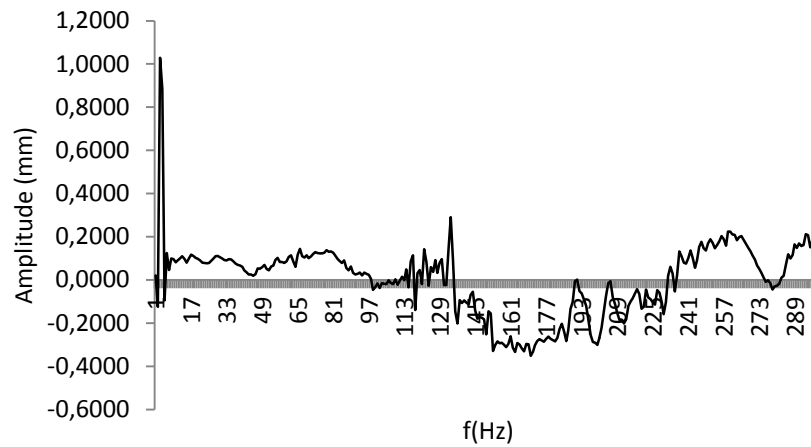
Gráfico 1 - Amplitude x Frequência da planta P1.



Fonte: Do autor (2016).

O gráfico 2 representa o comportamento de um lote de trezentas amostras em um tempo de 10 segundos, com frequências e oscilações aplicadas nas plantas P2, conforme mostrado no Gráfico 2.

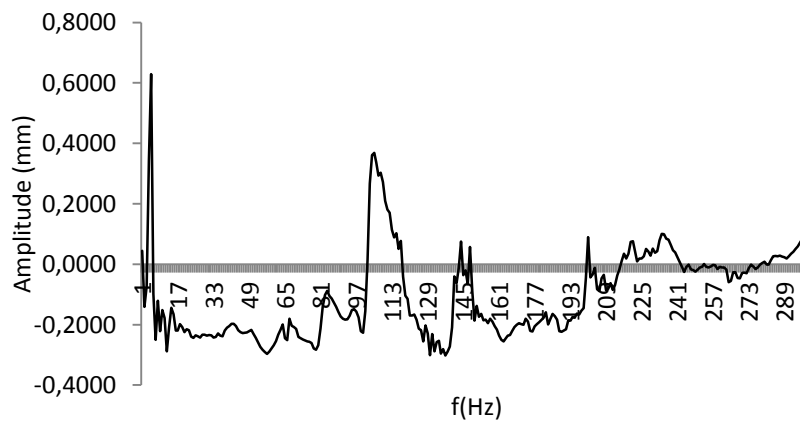
Gráfico 2 - Amplitude x Frequência da planta P2.



Fonte: Do autor (2016).

O gráfico 3 seguinte representa o comportamento de um lote de trezentas amostras em um tempo de 10 segundos com frequências de oscilações aplicadas na planta P3, conforme mostrado no Gráfico 3.

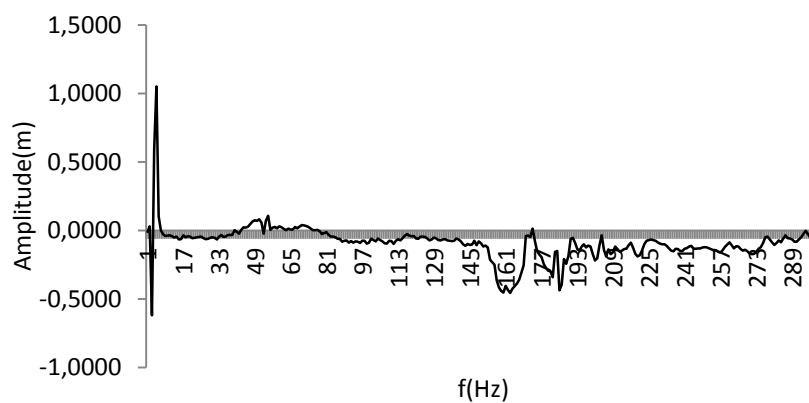
Gráfico 3 - Amplitude x Frequência da planta P3.



Fonte: Do autor (2016).

O gráfico 4 representa o comportamento de um lote de trezentas amostras em um tempo de 10 segundos, com frequências de oscilações aplicados na planta P4, conforme mostrado no Gráfico 4 de Amplitude e Frequência.

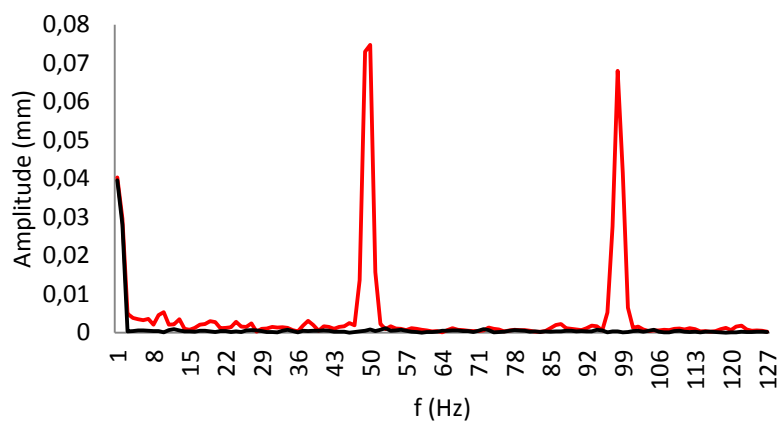
Gráfico 4 -Amplitude x Frequência da planta P4.



Fonte: Do autor (2016).

Com a amostragem citada, foi possível analisar o comportamento das oscilações perante o sinal puro e o sinal puro mais ruído, mediante os dados coletados com os instrumentos instalados nas plantas P1, P2, P3 e P4.

Também foram analisadas as oscilações baseadas nos fundamentos da “Série de Fourier”, através dos resultados da transformação do sinal filtrado coletados pelos instrumentos instalados nas plantas P1, P2, P3 e P4 ^(*), mostrados no Gráfico 5.

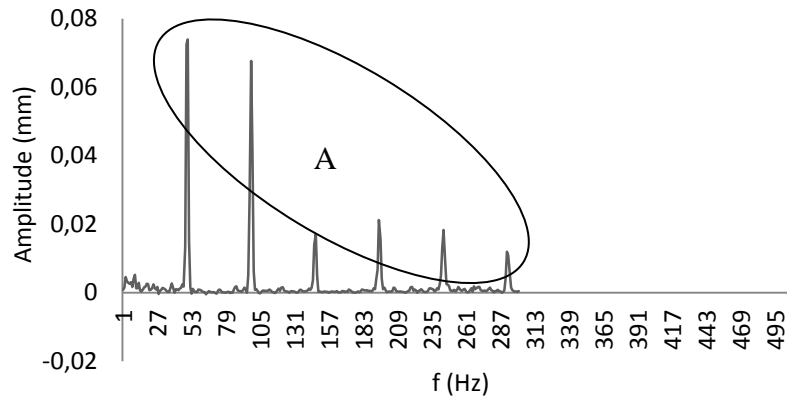
Gráfico 5 - Resultado da transformada do sinal filtrado do fruto cereja em P1^(*1).

(*1) P1, P2, P3, P4 => Plantas.

Fonte: Do autor (2016).

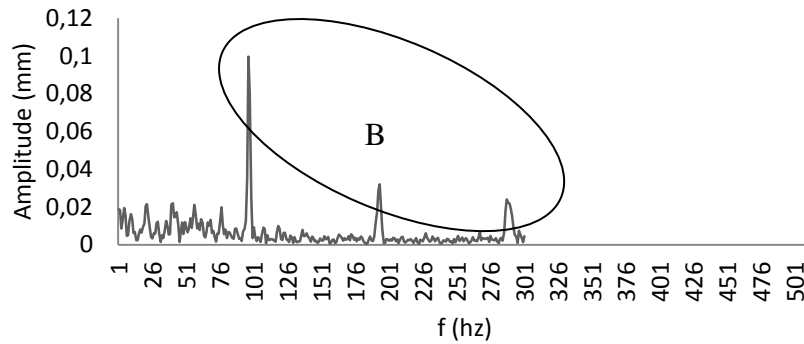
Nos gráficos representados na página seguinte, verificou-se que as componentes de baixas frequências são de amplitudes moduladas com vários sinais de altas frequências, nos pontos A, B, C e D, que foram encontrados em todos os testes realizados com o dispositivo fixado nos ramos, bem como nos frutos, conforme mostrado nos Gráficos 8, 9, 10 e 11, (Transformada - Componentes de baixas e altas frequências).

Gráfico 6 - Transformada da componente de baixa e alta frequência do fruto cereja, em P1.



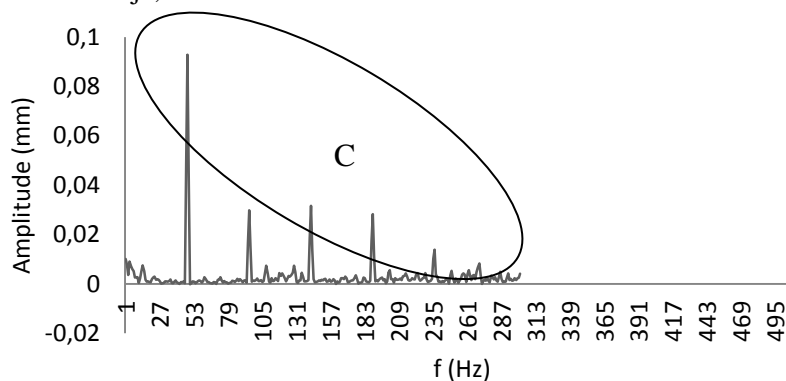
Fonte: Do autor (2016).

Gráfico 7 - Transformadada componente de baixa e alta frequência do fruto cereja, em P2.



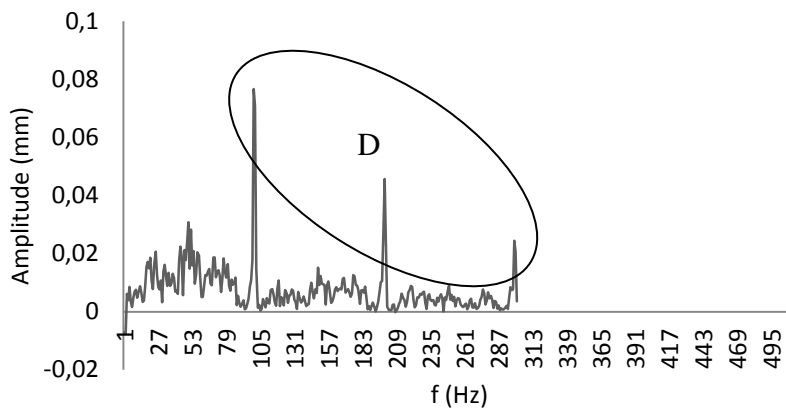
Fonte: Do autor (2016).

Gráfico 8 - Transformada componente de baixa e alta frequência do fruto cereja, em P3.



Fonte: Do autor (2016).

Gráfico 9 - Transformada da componente de baixa e alta frequência do fruto cereja, em P4.



Fonte: Do autor (2016).

Em todas as quatro plantas, a média de frequência durante o ensaio de vibração se encontra em 38 e 88 Hz. Isso permite inferir sobre a sintonia de vibrações para colher os frutos maduros na condição cereja.

5.7 Oscilações na planta

No estudo, também foram analisadas as oscilações relacionadas ao posicionamento do dispositivo, fixando-se de maneira que as oscilações provocassem a ruptura dos frutos no pedúnculo. Os testes foram analisados em dez etapas consecutivas em posicionamentos diferentes, em que as oscilações nos ramos com o dispositivo “A” pudessem movimentar o galho, que através do dispositivo “B”, transformasse os valores coletados em forma de vibrações, conforme situação “C”. Os sinais são encaminhados para a determinação de parâmetros relacionados às vibrações [Tensão (MVolt) x Tempo (s)], conforme apresentado na Figura 45 e, nos Gráficos 10 ao 19 da planta P1.

Figura 45 - Oscilações no ramo com instrumento transmissor no fruto.

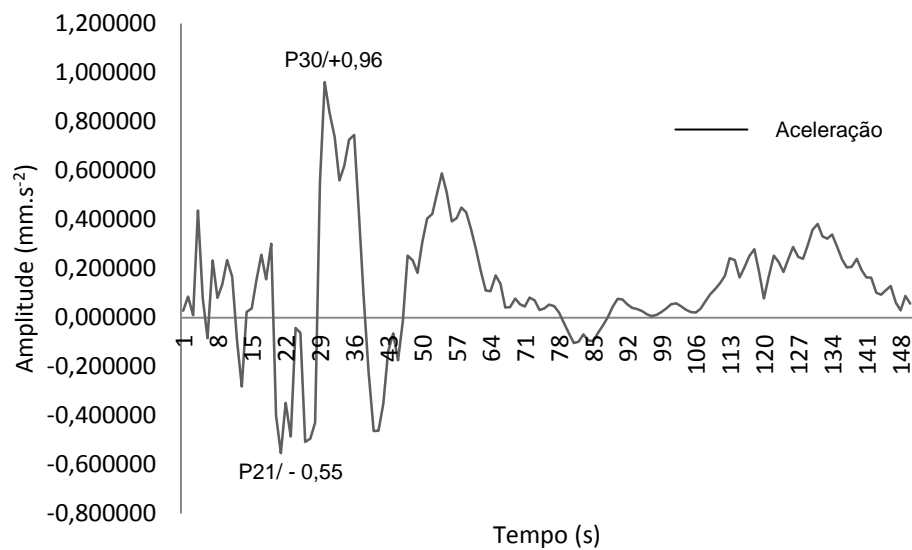


Fonte: Do autor(2016).

Com base nos resultados apresentados nos gráficos, os valores das oscilações poderão definir e melhorar os parâmetros de regulagens de máquinas, desenvolver dispositivos e máquinas, a fim de melhorar a seleção dos grãos em

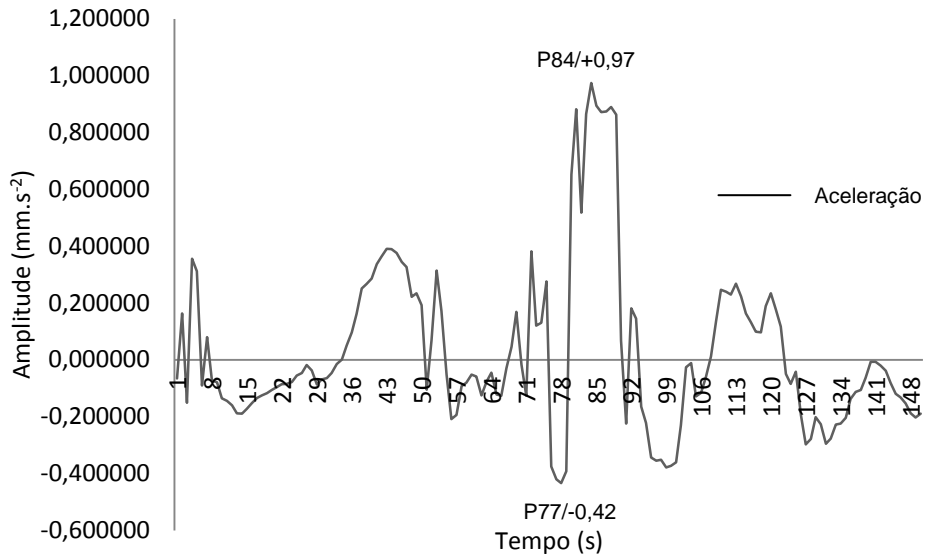
uma colheita seletiva de grãos cereja. Esses valores estão relacionados às vibrações como: [Tensão (MVolt) x Tempo (s)], conforme apresentado na Figura 6 e nos Gráficos Planta P1. Os valores estão dispostos na Tabela 10 dos testes de vibrações de 1 ao 10 (Somatório, Média, Mínimo/Máximo, Desvio-Padrão e Variância).

Gráfico 10 - Teste 1 Vibrações no ramo da planta P1.



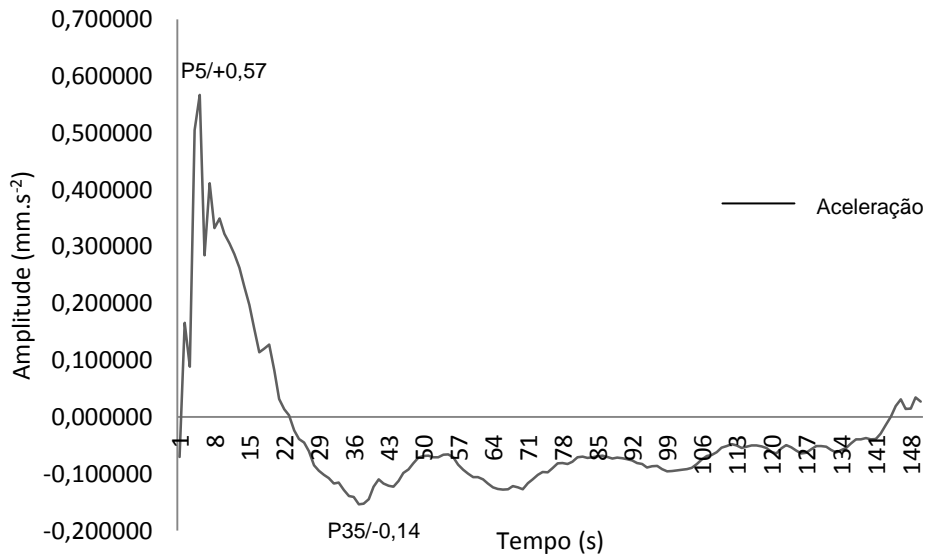
Fonte: Do autor (2016).

Gráfico 11 - Teste 2 Vibrações no ramo da planta P1.



Fonte: Do autor (2016).

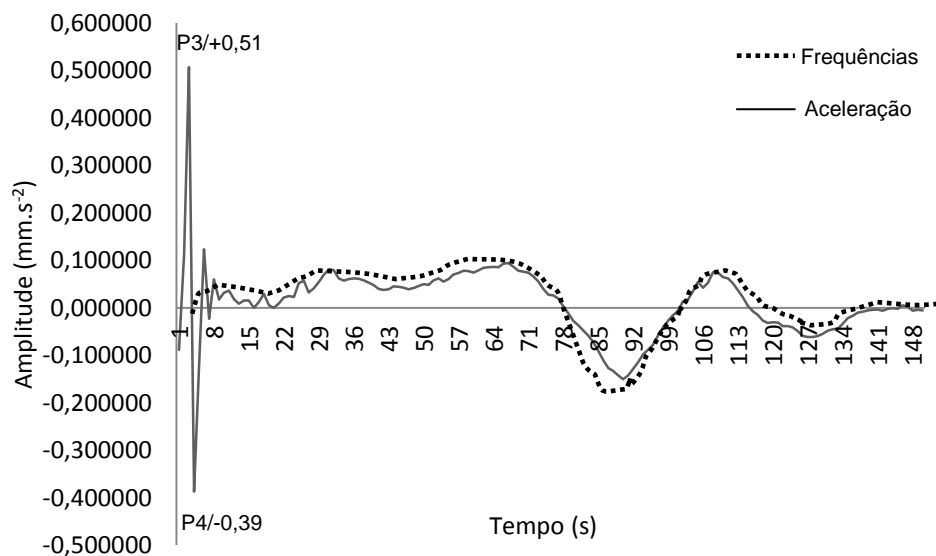
Gráfico 12 - Teste 3 Vibrações no ramo da planta P1.



Fonte: Do autor (2016).

No gráfico 13, verificou-se a linha pontilhada, que representa a componente de baixa frequência (60 a 800Hz), em amplitude modulada com vários sinais de alta frequência, comprovada pela Transformada “Série de Forrier”, capaz de gerar vibrações nos pontos de instalação dos eletretos.

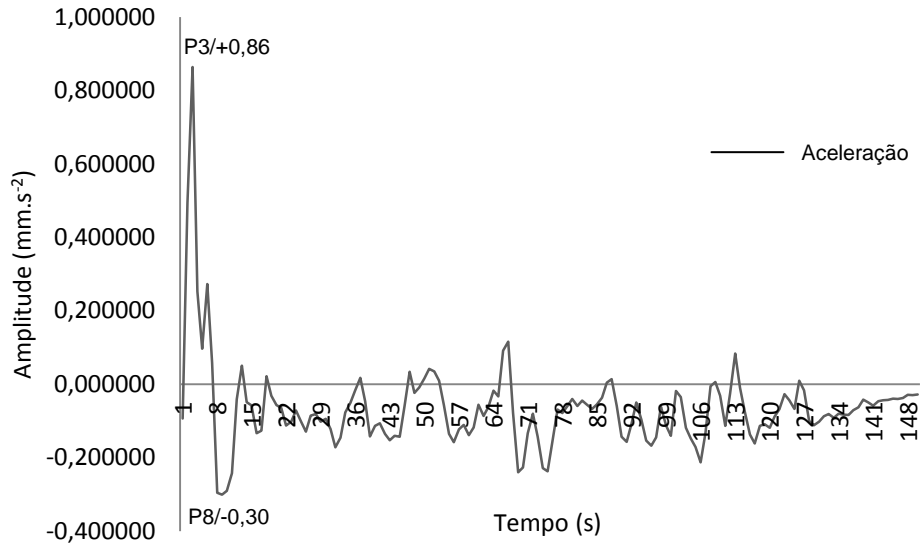
Gráfico 13 - Teste 4 Vibrações no ramo da planta P1.



Fonte: Do autor (2016).

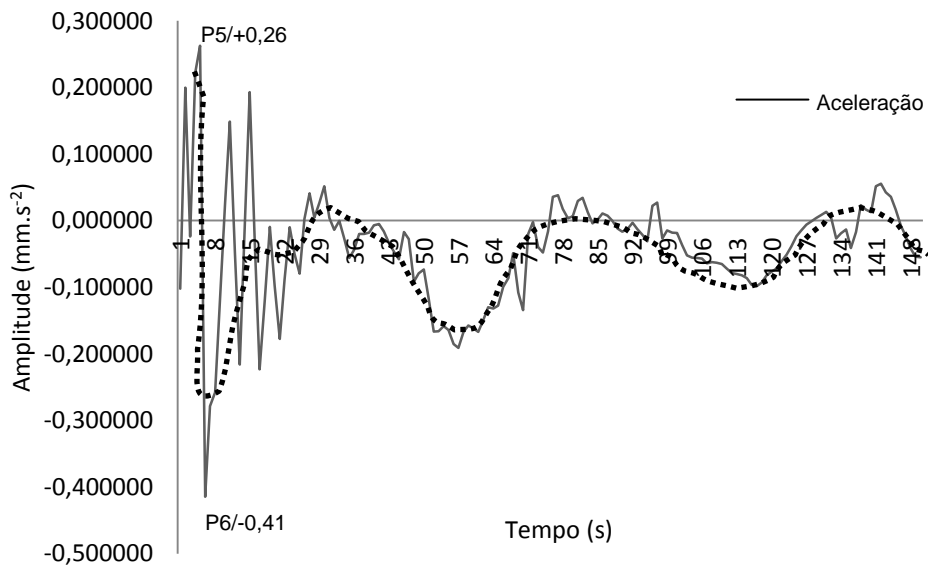
O gráfico 14 representa a variável galho na planta P1, como respostas à excitação representada no Teste 5, das vibrações do galho da planta P1.

Gráfico 14 - Teste 5 Vibrações no ramo da planta P1.



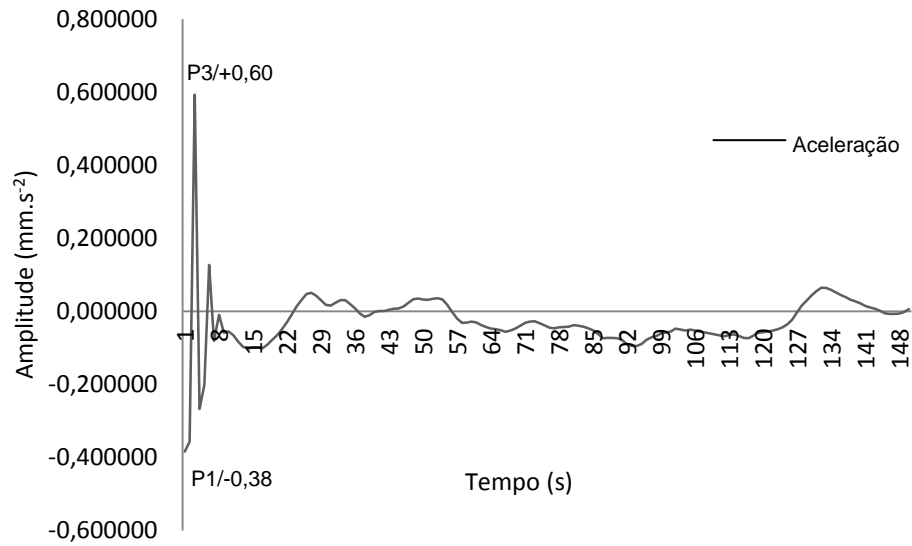
Fonte: Do autor (2016).

Gráfico 15 - Teste 6 Vibrações no ramo da planta P1.



Fonte: Do autor (2016).

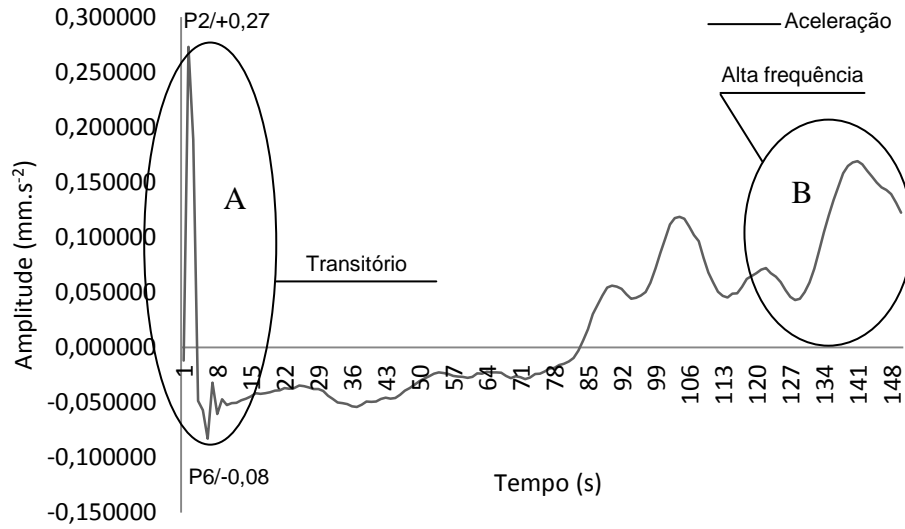
Gráfico 16 - Teste 7 Vibrações no ramo da planta P1.



Fonte: Do autor (2016).

O Gráfico 17 representa a região “A” com o *start* da transição inicial, presente em todas as assimulações. Na região “B” apresenta picos de alta frequência.

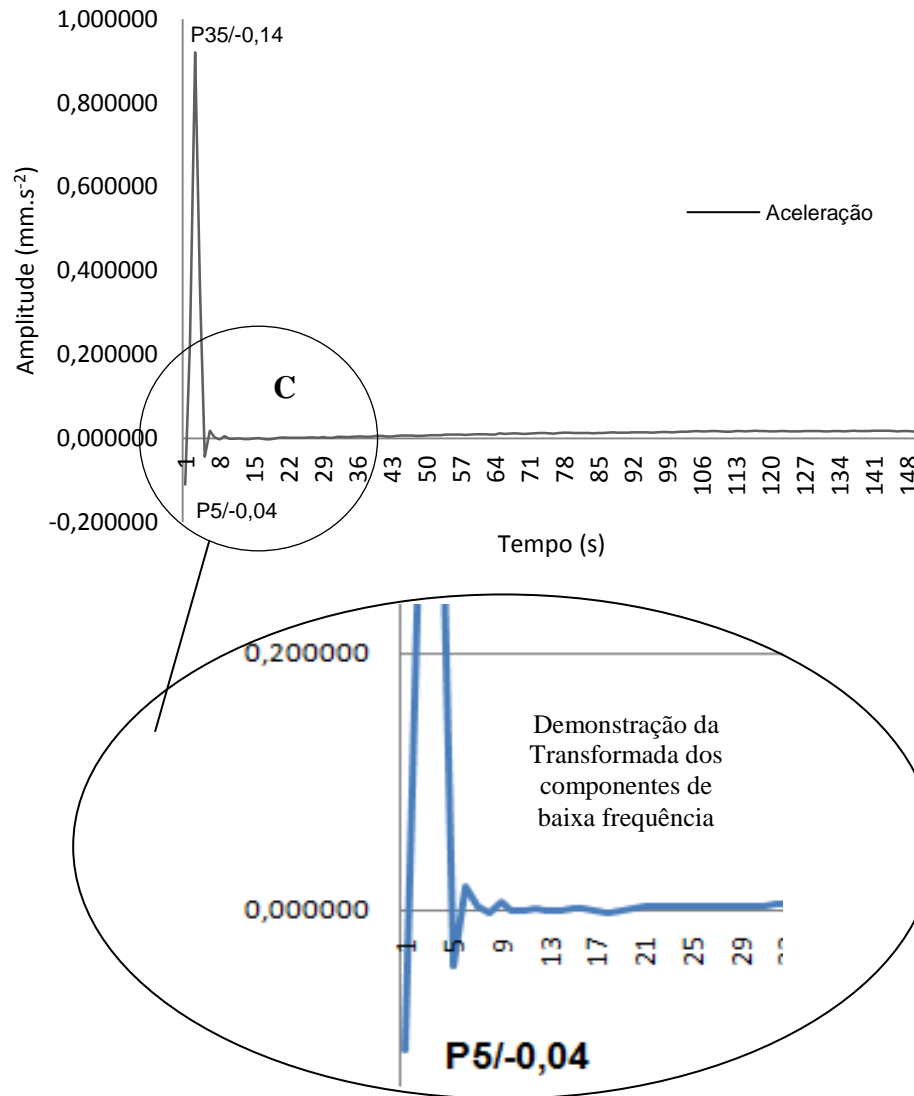
Gráfico 17 - Teste 8 Vibrações no ramo da planta P1.



Fonte: Do autor (2016).

Todas as análises realizadas nos testes T1 ao T10 apresentaram região de transição inicial, demonstrado no “Detalhe - C”, do gráfico de vibrações.

Gráfico 18 - Teste 9 Vibrações no ramo da planta P1.

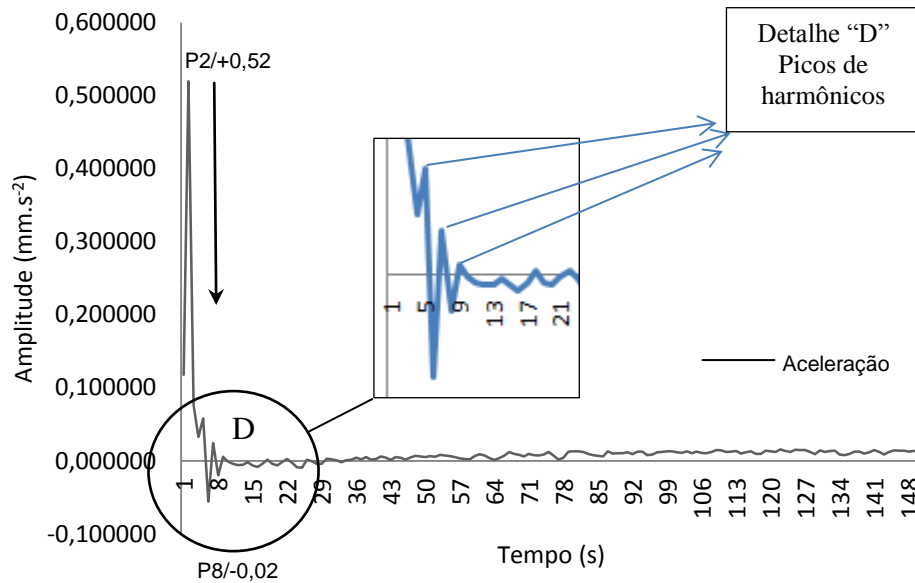


Fonte: Do autor (2016).
 “Detalhe C” - Componentes de baixa frequência

O Gráfico 19 (do Teste 10) está representando em detalhe na região “D” os picos logarítmicos e pelos harmônicos, presentes em várias das simulações de

vibrações, representados através da Transformada, na planta P1, conforme Gráfico 19.

Gráfico 19 - Teste 10 Vibrações no ramo da planta P1.



Fonte: Do autor (2016).

De acordo com as análises comparativas citadas nos gráficos (Comparação geral dos testes das vibrações, Dispersão das vibrações nos galhos e, Comparativo das amostras de vibrações no galho da Planta P1), foram demonstradas as vibrações nas posições onde se encontram os frutos nos ramos). O gráfico seguinte mostra a comparação geral dos testes das vibrações e o Comportamento das amostras de vibrações nos ramos da planta P1, conforme mostrado nas Figuras 46 e 47 e Tabela 8 do Resultado dos Testes de Vibrações T1 ao T10, em valores de: Somatório, Média, Mínimo / Máximo, Desvio-Padrão e Variância.

Nos testes realizados na planta P1 das análises de vibrações, aplicaram-se movimentos de excitação nos ramos plagiotrópicos e, com afixação dos sensores para captação dos sinais. Mediante esse teste, verificou-se que o desprendimento dos frutos no pedúnculo está diretamente relacionado ao comportamento do ramo em relação ao movimento de onda provocado pelas vibrações representados nas curvas de flexão dos ramos plagiotrópicos onde se localizam os cachos dos frutos e as gemas. Os sensores (microfone de eletreto), estão localizados e fixados nos frutos a fim de realizar a captação dos sinais e, conseqüentemente, transformá-los em dados de vibrações. Confirmou-se nesse estudo de caso, que os frutos da planta P1, apresentou dificuldade de se desprender do galho quando estão localizados na posição próximo à gema. Com isso, todos os testes realizados apresentaram curva de deslocamento que o grão (fruto), se desprende na região de maior flexão, conforme mostrado nas Figuras 46 e 47 e nos esquemas da frequência de ondas 20 ao 29.

Figura 46 - Flexão da vibração do ramo plagiotrópico da planta P1.

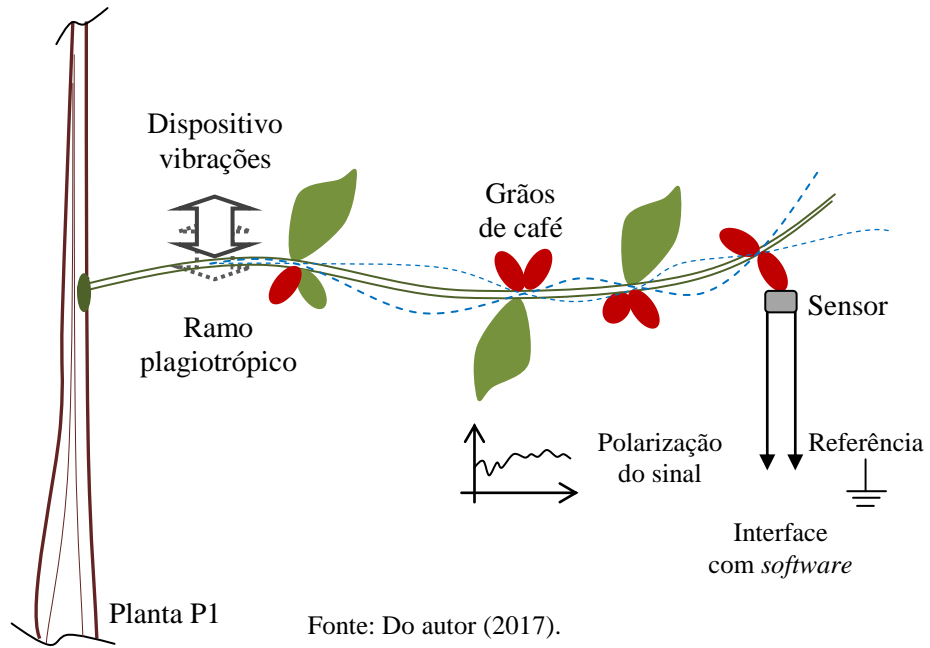
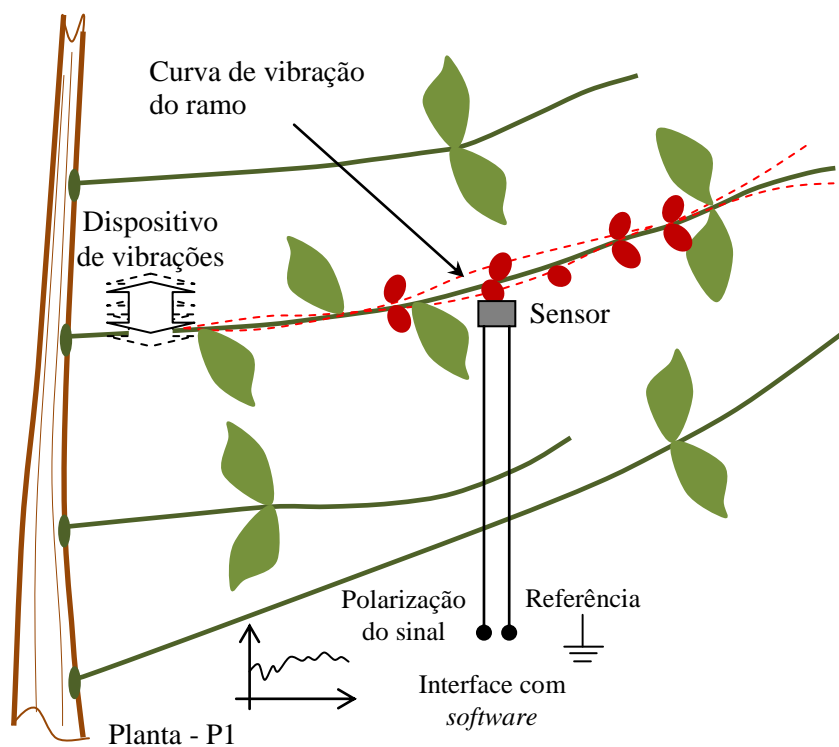


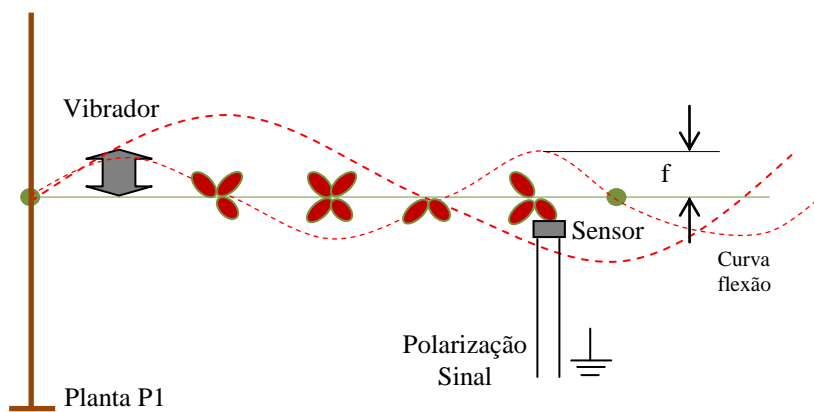
Figura 47 - Flexão da vibração do ramo plagiotrópico da planta P1.



Fonte: Do autor (2017).

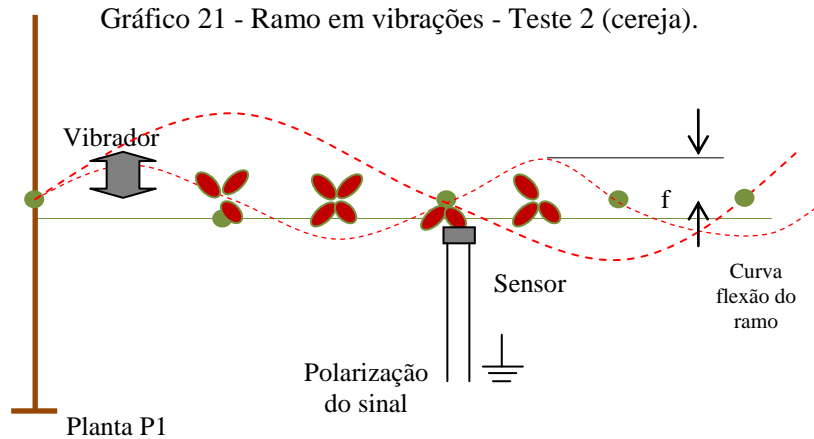
Nesse estudo de caso, em que os frutos da planta P1 apresentaram dificuldade de se desprender do ramo quando estão localizados na posição próximo à gema. Com isso, todos os testes realizados apresentaram curva de frequência de ondas dos ramos plagiotrópicos no desprendimento do grão (fruto), na região de maior flexão, conforme mostrado nos Gráficos 20 ao 29, dos testes 1 ao 10 da planta P1.

Gráfico 20 - Ramo em vibrações - Teste 1 (cereja).

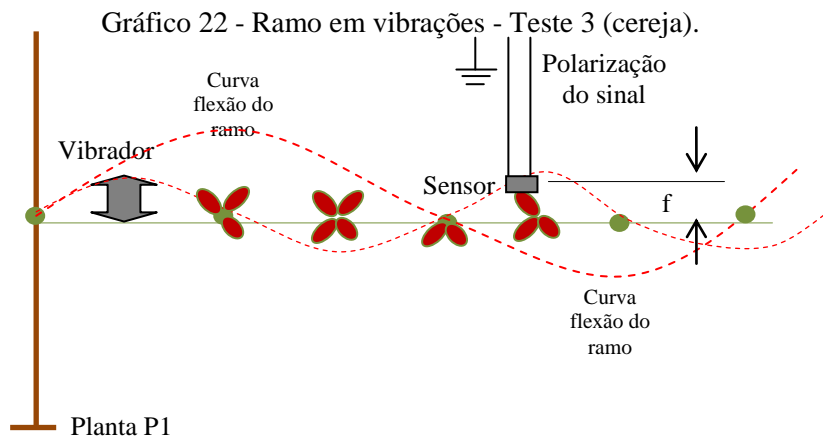


Nessa localização do sensor, houve desprendimento dos frutos.

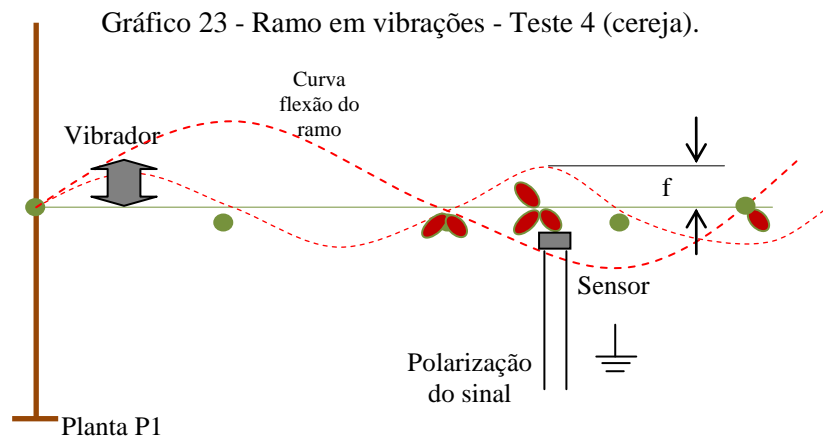
Gráfico 21 - Ramo em vibrações - Teste 2 (cereja).



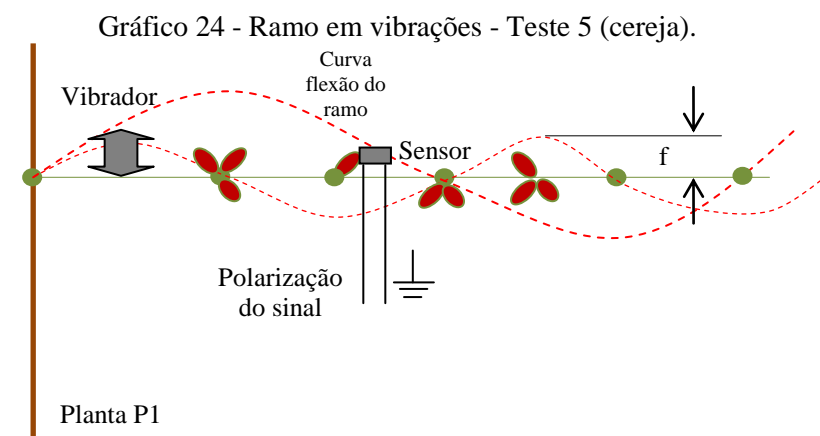
Nessa localização do sensor, houve desprendimento dos frutos.



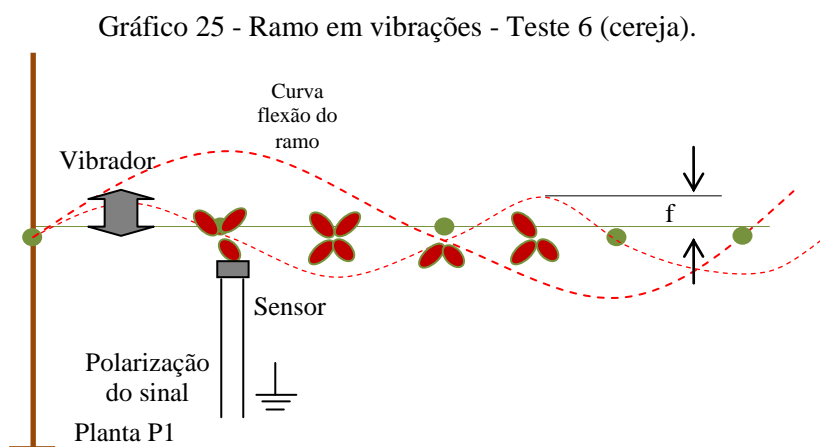
Nessa localização do sensor, houve desprendimento dos frutos.



Nessa localização do sensor, não houve desprendimento dos frutos, devido à proximidade da gema.

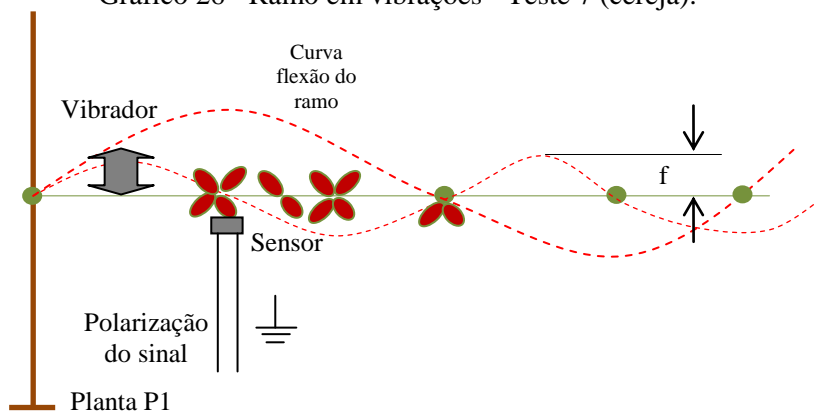


Nessa localização do sensor, houve desprendimento dos frutos.



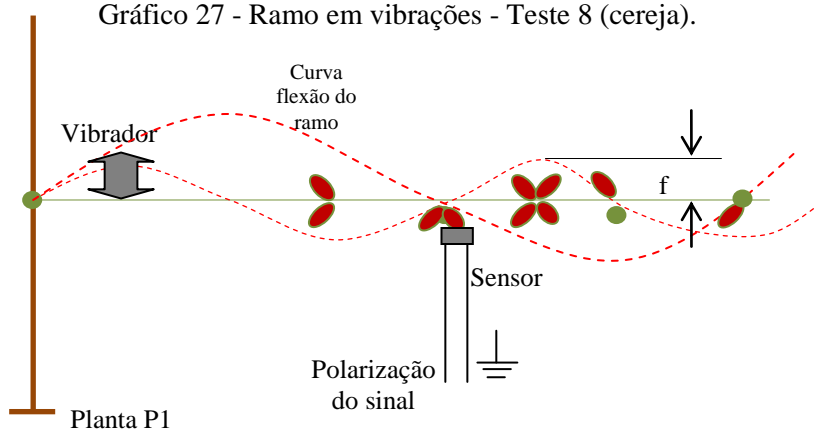
Nessa localização do sensor, houve desprendimento dos frutos.

Gráfico 26 - Ramo em vibrações - Teste 7 (cereja).



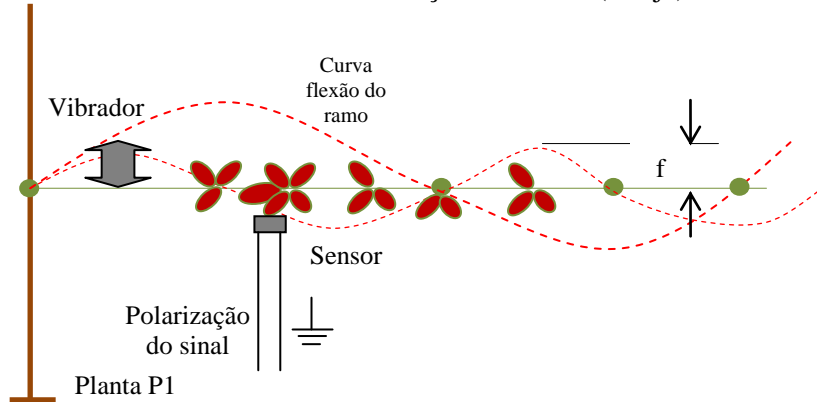
Nessa localização do sensor, não houve desprendimento dos frutos, devido ao agrupamento dos cachos e proximidade de caule em flexão curta.

Gráfico 27 - Ramo em vibrações - Teste 8 (cereja).



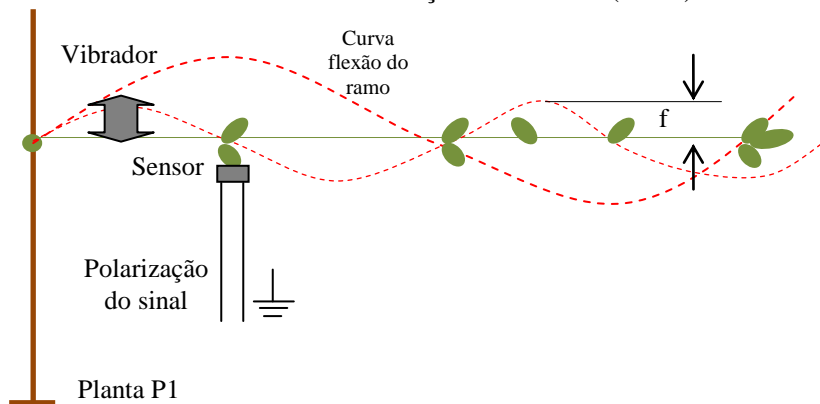
Nessa localização do sensor, não houve desprendimento dos frutos, devido ao ponto de interseção da curva, anulando as vibrações.

Gráfico 28 - Ramo em vibrações - Teste 9 (cereja).



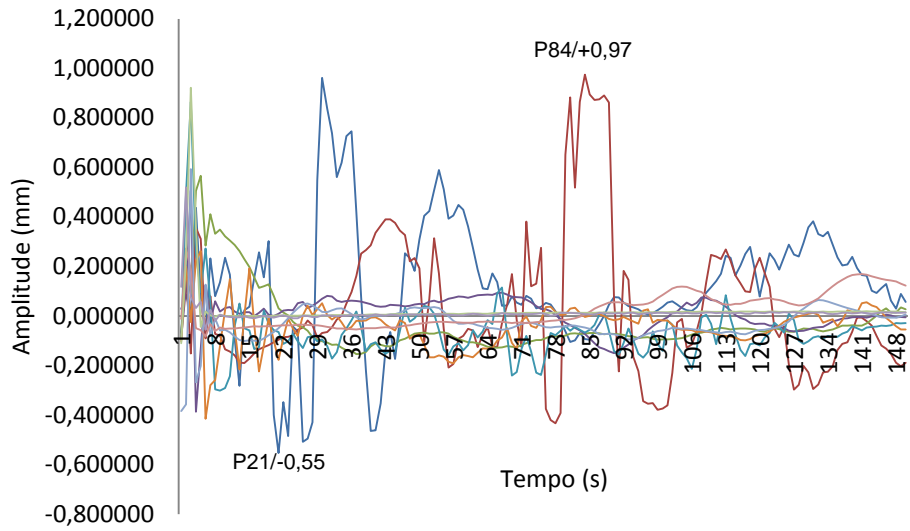
Nessa localização do sensor, houve desprendimento dos frutos, devido a concentração de cachos e gemas muito próxima e pontos fixos.

Gráfico 29 - Ramo em vibrações - Teste 10 (verde).



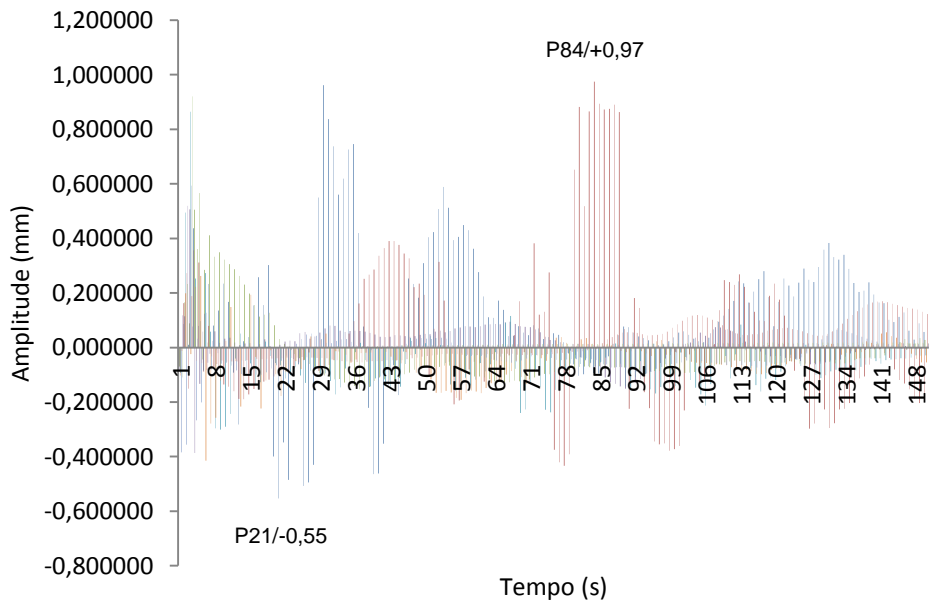
Nessa localização do sensor, não houve desprendimento dos frutos, devido à resistência do fruto verde no pedúnculo.

Gráfico 30 - Comparação geral dos testes das vibrações 1 ao 10 (planta P1).



Fonte: Do autor (2016).

Gráfico 31 - Comportamento de todas as amostras dos testes 1 ao 10 (planta P1).



Fonte: Do autor (2016).

Tabela 8 - Resultado de testes de vibrações T1 ao T10 - (mm/s).

Amostra	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Média
Σ	18,59	4,64	-4,67	1,56	-9,8	-6,36	-4,22	3,22	2,98	1,79	1,86
X	0,12	0,03	-0,03	0,01	-0,07	-0,04	-0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
Máx.	0,96	0,97	0,57	0,51	0,86	0,26	0,59	0,27	0,92	0,52	0,096
Mín.	-0,55	-0,43	-0,15	-0,39	-0,3	-0,41	-0,38	-0,08	-0,11	-0,06	-0,286
D-P	0,18	0,18	0,17	0,2	0,34	0,21	0,24	0,11	0,27	0,15	0,241
VAR.	0,06	0,08	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0	0,022

Fonte: Do autor (2017).

Valores de: Somatório, Média, Mínimos e Máximos, Desvio-Padrão e Variância.

A diferença entre as posições “L e H” (baixo/alto) do dispositivo de vibrações não interfere nos valores encontrados das médias das vibrações nos testes 1 ao 10 da planta P1.

Nos estudos realizados neste projeto, observou-se que o peso do fruto é relevante para a captação dos sinais. Deve-se levar em consideração que o equilíbrio de massas entre o instrumento instalado (sensor) e as variadas formas e massas dos frutos chamou a atenção, uma vez que os instrumentos e suas características deveriam apresentar a mesma massa, anulando-as, ou massa inferior à massa do fruto.

Nessa análise, o equipamento que apresentou melhores condições foi o microfone de eletreto, conforme mostrado na Tabela 9, do peso médio dos grãos de café e o peso dos instrumentos.

Tabela 9 - Pesos comparativos dos grãos e dos instrumentos.

Especificações	Tipo de Café		Tipo de instrumentos		
	Mundo	Icatu	Acelerômetro	Microfone	Eletrodo
Peso	Novo		Datasheet	Eletreto	3M
	-	-	Search	0,174g	0,250g
	0,19g	0,89g	0,032g	-	-

Fonte: Do autor (2015).

6 CONCLUSÕES

Considerando o comportamento dinâmico das condições dos ramos, pedúnculos e frutos das plantas submetidas às vibrações mecânicas, verificaram-se variáveis que poderão alterar seu comportamento e contribuir para a mecanização da colheita e melhora de processos do setor cafeeiro.

Para que a atividade, complexa e de elevado custo de produção e mão de obra, seja menos onerosa, as formas de colheita mecanizada realizadas atualmente necessitam de áreas de plantio mais planas. Assim, este projeto apresenta sugestões para atender fatores como o declive dessas áreas, condições climáticas, altura das plantas e necessidade da colheita no período correto.

Os instrumentos de análise e controle, agregados à mecanização, surgem como uma possível solução para o aumento da eficiência dos equipamentos e na eficácia operacional do processo, reduzindo esforços físicos e aumentando o aproveitamento da capacidade instalada na colheita.

O desenvolvimento de máquinas e dispositivos de controle para a colheita exige conhecimento do comportamento dinâmico, mecânico, estático e dimensional da planta, visando à melhor eficiência de derrça, além de proporcionar a menor quebra de galhos e queda de folhas.

Esse desenvolvimento permitiu uma colheita de frutos na condição cereja com vibrações em frequências na faixa de 38 a 88 Hz e amplitude de 0,2 a 3,0 mm, em todas as quatro plantas. A média de frequência durante o ensaio de vibração permitiu inferir sobre a sintonia de vibrações para colher os frutos cereja maduros.

Em todos os testes realizados, foram encontradas regiões de transição inicial por meio dos picos logarítmicos e pelos harmônicos presentes nas simulações de vibrações nas plantas.

Mediante as análises citadas, como comparação geral dos testes das vibrações, dispersão das vibrações no ramo e o comportamento das amostras de

vibrações no ramo da planta, constatou-se que é possível aplicar essa técnica com baixo custo e com recursos acessíveis a qualquer produtor cafeeiro e outras culturas da região.

Desse modo, uma das sugestões desse estudo é a instalação de uma unidade experimental que possibilite a utilização dos parâmetros encontrados pelos eletretos e acelerômetros para o desenvolvimento de equipamentos mais leves, novos perfis de pneus e de colhedoras que exigem menor área de movimentação, proporcionando melhorias nos processos e no custo-benefício de sistemas de coleta seletiva de grãos em lavouras cafeeiras e similares.

Sugere-se também a admissão dos valores dos resultados de classificação e quantificação obtidos no controle do grão de café, levando em consideração o tamanho e o peso encontrados nas análises de vibrações nos equipamentos de coleta.

Por fim, sugere-se o controle do movimento das plantas e dos frutos para seu desprendimento, levando em consideração a ação dos ventos, chuvas e compactação do solo. A adaptação ao sistema de coleta de grãos de café pode permitir o desenvolvimento futuro de técnicas e equipamentos com essa finalidade, possibilitando o aperfeiçoamento para um mercado cada vez mais exigente.

REFERÊNCIAS

- 3M. **Eletrodo Ecg cardiológico**. 2016. Disponível em: <https://www.3m.com.br/3M/pt_BR/3m-do-brasil/?WT.mc_id=www.3m.com.br>. Acesso em: 10 mar. 2017.
- ARISTIZÁBAL, T. L. D. **Estudiodefecto de lavibracióndelárbol de café enlaselectividad de lacosecha**. Chinchiná: Cenicafé, 1998. Experimento ING, 0105.
- BEN-TAL, Y.; WODNER, M. Chemical loosening of olive pedicel's for mechanical harvesting. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 356, p. 297-301, 1994.
- BORÉM, F. M. Qualidade do café-cereja descascado produzido na região sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 6, p. 1367-1375, nov./dez. 2004.
- CASE IH, fabricante de colhedora de café. Disponível em: <<https://www.caseih.com/latam/pt-br/products/colhedoras-e-colheitadeiras/colhedoras-de-caf%C3%A9>>. Acesso em: 10 mar. 2017.
- CORAL. **Colorímetro X-rite CAPSURE**. 2015. Disponível em: <<http://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/capsure-rm200>>. Acesso em: 10 mar. 2017.
- DATASHEET SEARCH.**STM**Microelectronics: all rights reserved STMMicroelectronics group of companies. 2008. Disponível em: <<http://www.st.com>>. Acesso em: 10 mar. 2017.
- DRAGÃO SOL, fabricante de colhedora de café. Disponível em: <<http://www.dragaosol.com.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2017.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, mar./abr. 2014.
- FRIDLEY, R. B. Vibration and vibratory mechanisms for the harvest of tree fruits. In: _____. **Principles & practices for harvesting & handling fruits & nuts**. Westport: AVI, 1983. p. 157-185.

FRIDLEY, R. B.; YUNG, C. Computer analysis of fruit detachment during tree shaking. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 18, n. 3, p. 409-415, 1975.

GASKINS, B.; MARTÍNEZ, A.; LLANES, O. Determinación de las propiedades físico-mecánicas del sistema frutopedúnculo-rama de café variedad Caturra Rojo y Amarillo. In: CONFERENCIA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA HABANA AGRING, 1., La Habana, 2004. **Anales...** La Habana, 2004. 1 CD-ROM.

GASKIN, E. B. et al. Determinación de las características dimensionales de los árboles de *Coffea arabica* variedad Caturra y su distribución en el área experimental en condiciones de La provincia Granma. In: CONFERENCIA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA HABANA AGRING', 1., 2004, La Habana. **Proceedings...** La Habana, 2004. 1 CD-ROM.

HEIDEMANN, L. A. et al. Ciclos de modelagem: uma proposta para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 29, p. 965-1007, out. 2012. Número especial.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

JACTO, fabricante de equipamentos. **Colhedora Jacto KTR® Advance**. 1983. Disponível em: <<https://jactoclean.com.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

LLANES, G. O. Evaluación en condiciones de campo de un vibrador lineal de masas desbalanceadas en la cosecha de toronjas. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, La Habana, v. 7, n. 1, p. 9-15, 1998.

MALVINO, Albert Paul. **Eletrônica** - Vol. II 8ª Ed. 2016 (Cód: 9376420) Amgh Editora

MARTIN, G. C. Mechanical olive harvest: use of fruit loosening agents. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 356, p. 284-291, 1994.

MARTÍNEZ RODRÍGUES, A. et al. **Análise modal do sistema frutopedúnculo de café**. Brasília, DF: EMBRAPA Café, 2004. Disponível em: <http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio4/p382.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2017.

MATIELLO, J. B.; PINTO, J. F. Comparativo de rendimento em diversos processos de colheita manual de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: MA/PROCAFE, 1998. p. 13-14.

MEDINA, C.; VELAZCO, S.; SALINAS, J. Control experimental del modelo de péndulo matemático. **Revista Brasileira Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 245-258, jun. 2002.

KONICA MINOLTA. Disponível em:
<<http://sensing.konicaminolta.asia/products/cr-300-chroma-meter/>>. Acesso em: 28 set. 2017.

MINOLTA SENSING BRASIL SENSING. Disponível em:
<<http://www.konicaminolta.com.br>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

MOTTA, P. E. F. et al. Ocorrência de macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, p. 1023-1031, 2002.

MUNDIM, J. L. C. et al. Simulação do comportamento dinâmico do sistema de vibração de dois sistemas de limpeza. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E À AGROINDÚSTRIA, 4., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro, 2003. 1 CD-ROM.

NAKASHI. **Derric Nakashi DI262mt2-Dupla, Lateral, Turbo2-Maodupla, 25,6cc Mitsubishi, Tubo 110cm, 7x7**. Disponível em:
<<http://www.nakashi.com.br>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

NATIONAL INSTRUMENTS BRAZIL. Disponível em:
<<http://www.ni.com/pt-br.html>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. **LabVIEW**. 2011. Software.

CAMPO LOPEZ, O. L.; ALVAREZ-HERRERA, L. M. Tendencia de laproducción y el consumo del café em Colombia. **Apuntes del Cenes**, Boyacá, v. 36, n. 64, 2017. Disponível em:
<<http://revistas.uptc.edu.co/revistas/index.php/cenes/article/view/5419/5410>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

ORTIZ-CAÑAVATE, J.; SIERRA, J. G. Recolección integral de la aceituna. **Maquinas y Tractores**, Madrid, v. 11/12, p. 51-54, 1993.

OSTERMANN, F. A epistemologia de Kuhn. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 13, n. 3, p. 184-196, 1996.

PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produção: métodos e aplicações**. 6. ed. São Paulo: E. Blucher, 2005. 412 p.

PCE INSTRUMENTS. **PCE Instruments Force Gauge PCE-FM200**. Disponível em: <<http://www.pce-instruments.com/>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

PORRAS PIEDRA, A.; PORRAS SORIANO, A.; SORIANO MARTÍN, M. L. **Recolección de aceituna: conceptos necesarios para sumecanización**. Madrid: Agrícola Española, 1990.

RODRÍGUEZ, R. C. et al. **Grupos económicos jalisciense sem la transición de la apertura económica (1980-2010)**. 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/311487246_Grupos_economicos_jaliscienses_en_la_transicion_de_la_apertura_economica_1980-2010>. Acesso em: 10 mar. 2017.

SAMPAIO, C. P. **Determinação da força requerida para o desprendimento de frutos de café em diferentes estádios de maturação**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2000. 37 p.

SESSLER, G.; WEST, M. **Bell labs: electro acoustic transducer: foil electret condenser microphone 1962 1964**. Patent US n. 3118022. 1964.

SIERRA, J. G. Recolección de la aceituna. **Vida Rural**, Lisboa, n. 35, p. 58-60, nov. 1996.

SILVA, F. C. da. **Efeito da força de desprendimento e da maturação dos frutos de cafeeiros na colheita mecanizada**. Lavras: Ed. UFLA, 2013. 71 p.

SILVA, F. C. da. **Influência de variáveis meteorológicas do solo e nutricionais na força de desprendimento dos frutos do café**. Lavras: Ed. UFLA, 2008. 106 p.

SILVA, F. C. da. **Influências de variáveis meteorológicas do solo e nutricionais na força de desprendimento dos frutos do café.** 2013. 71 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SILVA, F. C. da et al. Correlação da força de desprendimento dos frutos em cafeeiros sob diferentes condições nutricionais. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 169-179, abr./jun. 2016.

SILVA, F. M. et al. Avaliação da colheita mecanizada e seletiva do café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRRAS, 28., 2002, Caxambú. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002. p. 150-152.

SILVA, F. M. et al. Desempenho da operação mecanizada de derrça do café. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 6, n. 2, p. 74-80, 1998.

SILVEIRA, P, M.; STONE, L. F. **Manejo de irrigação do feijoeiro:** uso do tensiômetro e avaliação do desempenho de pivô central. Brasília: Embrapa-SPI, 1994.46 p (EMBRAPA - cnpaf. Circular Técnica,27).

SOUZA, C. M. A. **Desenvolvimento e modelagem de sistemas de derrça e de abanação de frutos do cafeeiro.** 2004. 123 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

STIHL. Disponível em: <<http://www.stihl.com.br/stihl-apresenta-novo-derriador-de-caf-na-16-edio-da-femagri.aspx>>. Acesso em: 28 set. 2017.

TEIXEIRA, S. Qual é o ponto ideal de colheita do café? Disponível em: <<https://www.cpt.com.br/cursos-cafeicultura-agricultura/artigos/qual-e-o-ponto-ideal-de-colheita-do-cafe>>. Acesso em: 28 set. 2017.

TORNADO MATÃO, fabricante de equipamentos. **Colhedoras de café.** 2005. Disponível em: <<http://www.mataoequipamentos.com.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

TSATSARELIS, C. A.; AKRITIDIS, C. B.; SIATRAS, A. J. Classification of olive varieties for effective mechanical harvesting. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 27, n. 6, p. 1669-1673, 1984.

VÉLEZ, R. R. **Federação nacional de cafeicultores.** Disponível em: <<https://www.google.com.br/search?q=m%C3%A1quina+de+teste+universal+TME+30+toneladas&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwil1>>

114

[MObycjWAhUCjJAKHehxBG0Q7AkISA&biw=1280&bih=958>](#). Acesso em:
28 set. 2017.

ANEXO A - DADOS DE VIBRAÇÕES E DESPRENDIMENTO

Tabela 1 - Dados para análise de vibrações das plantas P1, P2, P3 e P4.

Amostras	P1	P2	P3	P4
1	0,1258	0,0209	0,0446	-0,0092
2	0,3452	-0,1242	-0,1410	0,0311
3	0,5090	1,0287	-0,0729	-0,6200
4	-1,1147	0,8849	0,3440	0,5908
5	-0,3782	-0,0946	0,6289	1,0501
6	0,0595	0,1246	-0,0983	0,1022
7	-0,0087	0,0461	-0,2498	0,0008
8	0,1525	0,0987	-0,1206	-0,0276
9	0,0668	0,0969	-0,2214	-0,0403
10	0,0901	0,0813	-0,1517	-0,0372
11	0,1097	0,0909	-0,1786	-0,0354
12	0,0903	0,0997	-0,2882	-0,0422
13	0,0102	0,1099	-0,2094	-0,0506
14	0,1062	0,0974	-0,1443	-0,0447
15	0,1131	0,0798	-0,1656	-0,0663
16	0,0378	0,0996	-0,2196	-0,0639
17	0,0969	0,1171	-0,2197	-0,0350
18	0,1333	0,1107	-0,1981	-0,0483
19	0,1074	0,1028	-0,2077	-0,0427
20	0,1183	0,0983	-0,2253	-0,0448
21	0,0818	0,0897	-0,2148	-0,0570
22	0,0778	0,0806	-0,2184	-0,0536
23	0,0847	0,0781	-0,2391	-0,0482
24	0,0800	0,0770	-0,2435	-0,0471
25	0,1244	0,0787	-0,2356	-0,0450
26	0,1808	0,0869	-0,2385	-0,0573
27	0,0913	0,0979	-0,2429	-0,0626
28	0,1131	0,1091	-0,2333	-0,0611
29	0,1509	0,1111	-0,2332	-0,0544
30	0,1081	0,1046	-0,2364	-0,0486
301	-0,0603	0,2121	0,0850	-0,0475
Σ	9,6656	0,8229	-30,7326	-27,0042
\bar{X}	0,0321	0,0027	-0,1021	-0,0897
máximo	-1,1147	-0,3511	-30,7326	-27,0042
mínimo	0,5090	1,0287	0,6289	1,0501

Fonte: Do autor (2016).

Tabela 2 - Desprendimento e dimensional dos frutos nas plantas P1, P2, P3, P4. (Continua)

Teste de desprendimento do fruto de café e da folha das plantas do cafeeiro utilizando dispositivo digital portátil - Gauge Test - Unidade Kgf

Am	P1					P2					P3					P4					
	Posição de coleta					Posição de coleta					Posição de coleta					Posição de coleta					
	Saia	Meio	Copa	Cereja	Passa	Saia	Meio	Copa	Cereja	Passa	Saia	Meio	Copa	Cereja	Passa	Saia	Meio	Copa	Cereja	Passa	Folha
1	0,60	0,64	0,82	0,00	0,00	0,43	1,24	0,25	0,61	0,26	0,93	0,29	0,37	0,30	0,00	0,36	0,49	0,78	0,76	0,00	1,05
2	0,76	0,46	0,77	0,00	0,00	0,93	0,23	0,21	0,42	0,46	0,36	0,29	0,33	1,10	0,00	0,42	0,31	0,55	0,89	0,00	0,84
3	0,46	0,55	0,71	0,00	0,00	1,27	0,82	0,62	0,36	0,19	0,83	1,00	0,37	1,12	0,00	0,33	0,45	0,27	0,51	0,00	0,77
4	0,61	0,61	0,60	0,00	0,00	1,44	0,50	0,62	0,62	0,11	0,88	0,49	0,66	0,27	0,00	0,66	0,59	0,30	0,26	0,00	0,71
5	0,92	0,44	0,49	0,00	0,00	0,70	0,27	1,07	0,24	0,11	0,47	0,47	0,79	1,06	0,00	0,56	0,44	0,29	0,43	0,00	0,62
6	0,61	0,96	0,22	0,00	0,00	0,70	0,18	1,11	1,14	0,21	0,52	0,25	0,38	0,54	0,00	1,12	0,32	0,23	0,74	0,00	0,93
7	0,93	0,72	0,22	0,00	0,00	0,55	0,71	0,89	1,10	0,18	0,74	0,86	0,56	0,62	0,00	0,52	0,57	0,55	0,24	0,00	0,92
8	0,82	0,40	0,24	0,00	0,00	0,75	0,46	0,56	0,18	0,41	0,76	0,71	1,17	0,48	0,00	0,76	1,02	0,58	0,71	0,00	0,62
9	1,21	0,30	0,75	0,00	0,00	1,01	0,23	0,83	0,61	0,32	0,59	0,53	0,99	0,59	0,00	0,57	0,49	0,44	0,72	0,00	0,82
10	0,61	0,43	0,88	0,00	0,00	0,34	0,60	0,35	0,50	0,30	0,57	0,25	0,56	0,58	0,00	0,38	0,85	0,65	0,30	0,00	0,90
11	0,31	0,87	1,19	0,00	0,00	1,02	0,27	0,39	0,97	0,25	0,95	0,45	1,00	0,44	0,00	0,82	0,45	0,47	0,33	0,00	0,77
12	0,49	0,56	0,25	0,00	0,00	0,77	0,26	0,39	1,19	0,52	0,37	0,48	0,47	0,62	0,00	0,41	0,29	0,56	0,51	0,00	0,62
13	0,47	0,82	1,23	0,00	0,00	0,46	0,61	0,33	0,56	0,20	0,33	0,59	0,56	1,02	0,00	0,34	0,93	0,45	0,28	0,00	0,82
14	0,68	0,56	0,21	0,00	0,00	1,17	0,83	0,40	0,92	0,18	0,82	0,54	0,31	1,03	0,00	0,98	0,65	0,82	0,60	0,00	0,71
15	0,63	0,74	1,13	0,00	0,00	0,28	0,37	0,41	0,27	0,27	1,00	0,44	0,32	0,85	0,00	0,76	0,55	0,48	0,21	0,00	0,62
16	0,99	0,38	0,77	0,00	0,00	1,30	0,31	0,42	0,21	0,09	0,41	0,44	0,31	0,55	0,00	0,46	0,50	0,56	0,25	0,00	0,77
17	0,42	0,58	0,79	0,00	0,00	0,37	0,89	0,46	0,43	0,32	0,34	0,31	0,72	0,41	0,00	0,56	0,49	0,31	0,27	0,00	0,91
18	0,80	0,94	1,14	0,00	0,00	1,39	0,39	0,49	0,22	0,11	0,99	1,00	0,45	0,24	0,00	0,92	0,26	0,45	0,74	0,00	0,76
19	0,95	0,87	0,62	0,00	0,00	0,28	0,54	0,52	0,44	0,22	0,77	0,57	0,80	0,38	0,00	0,36	0,48	0,31	0,50	0,00	0,61
20	0,68	0,69	0,52	0,00	0,00	0,38	0,41	0,28	0,49	0,32	0,93	1,03	0,31	0,45	0,00	0,47	0,32	0,36	0,55	0,00	0,75
21	1,00	0,47	0,91	0,00	0,00	0,62	0,55	0,57	0,66	0,20	0,45	0,57	0,35	0,24	0,00	0,45	1,01	0,52	0,57	0,00	0,64
22	0,76	0,49	0,49	0,00	0,00	0,64	0,51	0,94	0,62	0,22	0,36	0,42	0,49	0,38	0,00	0,52	0,70	0,58	0,76	0,00	0,86
23	0,81	0,41	0,44	0,00	0,00	0,64	0,57	0,22	0,22	0,19	0,49	0,26	0,53	0,77	0,00	0,70	0,53	0,37	0,45	0,00	0,91
24	0,58	1,16	0,33	0,00	0,00	0,44	0,29	0,38	0,70	0,07	0,56	0,50	0,58	0,20	0,00	1,22	0,67	0,64	0,46	0,00	0,72

Tabela 2 - Desprendimento e dimensional dos frutos nas plantas P1, P2, P3, P4. (Conclusão)

Teste de desprendimento do fruto de café e da folha das plantas do cafeeiro utilizando dispositivo digital portátil - Gauge Test - Unidade Kgf																					
P1					P2					P3					P4						
Posição de coleta					Posição de coleta					Posição de coleta					Posição de coleta						
Am	Saia	Meio	Copa	Cereja	Passa	Saia	Meio	Copa	Cereja	Passa	Saia	Meio	Copa	Cereja	Passa	Saia	Meio	Copa	Cereja	Passa	Folha
25	0,80	0,38	1,13	0,00	0,00	0,66	0,69	0,22	0,94	0,14	0,65	0,27	1,21	0,90	0,00	0,56	0,93	0,47	0,57	0,00	0,77
26	0,38	0,52	1,01	0,00	0,00	0,43	0,74	0,34	0,23	0,39	0,24	0,94	1,27	0,85	0,00	0,47	0,49	1,01	0,45	0,00	0,83
27	0,79	1,07	0,77	0,00	0,00	0,28	0,50	0,36	0,53	0,35	0,50	0,50	0,24	0,65	0,00	0,65	0,28	0,45	0,32	0,00	0,66
28	0,53	0,84	0,24	0,00	0,00	0,27	0,41	0,32	0,79	0,12	1,32	0,49	0,44	0,50	0,00	0,67	0,45	0,39	0,41	0,00	0,62
29	0,77	0,74	0,42	0,00	0,00	0,71	1,10	0,76	0,79	0,10	0,67	0,67	0,59	0,65	0,00	0,72	0,51	0,35	0,70	0,00	0,87
30	0,39	0,89	0,54	0,00	0,00	0,29	0,52	1,17	0,96	0,16	0,70	0,93	0,64	0,45	0,00	0,82	0,27	0,45	0,65	0,00	0,69
Σ	20,76	19,49	19,83	0,00	0,00	20,52	16,00	15,88	17,92	6,97	19,50	16,54	17,77	18,24	0,00	18,54	16,29	14,64	15,14	0,00	23,09
Ī	0,69	0,65	0,66	0,00	0,00	0,68	0,53	0,53	0,60	0,23	0,65	0,55	0,59	0,61	0,00	0,62	0,54	0,49	0,50	0,00	0,77

Fonte: Do autor (2016)